

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет  
Кафедра радіотехнічних пристроїв та систем**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій ЖУК

«\_\_»\_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою**

**«Радіотехнічні інформаційні технології»**

**спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

**на тему: «Радіолокаційна система безперервного моніторингу рухомих  
об'єктів у секторі контролю**

Виконав:

студент IV курсу, групи РТ-г61-1

Ігнатенко Олександр Віталійович \_\_\_\_\_

Керівник:

К.т.н., доцент

Чмельов Вячеслав Орійович \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці:

К.б.н., доцент

Гусєв Аркадій Миколайович \_\_\_\_\_

Рецензент:

К.т.н., доцент

Лащевська Наталія Олександрівна \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проєкті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП РТ61. 648415.001 ПЗ	Пояснювальна записка	66	
3	A4	ДП РТ-г61-1.407533.00 ПЕЗ	Перелік елементів	1	
4	A4	ДП РТ-г61-1.407533.001	Специфікація ДР	1	
5	A4	ДП ХХХХ. 03.000 ТК	Специфікація ПДР	1	
6	A4	ДП ХХХХ. 04.000 ТК	Специфікація на пристрій	1	
7	A3	ДП ХХХХ. 05.000 ТК	Структурна схема	1	
8	A3	ДП ХХХХ. 06.000 ТК	ДР ДП	1	
9	A3	ДП ХХХХ. 07.000 ТК	ПДР ДП	1	
10	A3	ДП	ДР ЕП		
11	A3	ДП	ДР СК		
12	A3	ДП	ПДР ЕП		
13	A3	ДП	ПДР СК		
14	A3	ДП	Датчик руху СК		

				<b>ДП РТ61.648415.001 ПЗ</b>		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Ігнатенко			Радіолокаційна система безперервного моніторингу рухомих об'єктів у секторі контролю	Лист	Листів
Керівн.	Чмельов				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. РТПС Гр. РТ-г61-1	
Н/контр.						
Зав.каф.						

## АНОТАЦІЯ

До бакалаврського дипломного проєкту Ігнатенко Олександра Віталійовича

На тему: «Радіолокаційна система безперервного моніторингу рухомих об'єктів у секторі контролю»

В дипломному проєкті розроблено радіолокаційну систему на шести Доплерівських датчиках руху, спроектовано плату датчику руху та плату підсилювача датчика руху за допомогою середовища Altium Designer, корпус під даний датчик спроектовано за допомогою середовища SolidWorks, також за допомогою середовища MATLAB та з його пакетом SIGNAL PROCESSING AND COMMUNICATIONS проаналізували діаграми направленості фазово антенної решітки датчика руху.

**Ключові слова:** ефект Доплера, датчик руху, Доплерівський датчик руху, контроль простору, система безперервного моніторингу простору.

## ANNOTATION

To the bachelor's diploma project of Ihnatenko Oleksandr Vitaliyovych

On the topic: "Radar system of continuous monitoring of moving objects in the sector requires"

In the diploma project the radar system on six Doppler motion sensors is developed, the motion sensor plate and the plate are designed, subordinated to the sensor working under the Altium Designer program, the case is under the direction of SolidWorks, and also for MATLAB and COMMUNAL motion sensor grilles.

**Keywords:** Doppler effect, motion sensor, Doppler force sensor, space control, continuous space monitoring system.

# **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до дипломного проекту**

на тему:

**Радіолокаційна система безперервного моніторингу рухомих  
об'єктів у секторі контролю**

Київ — 2020 року

## Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	3
ВСТУП	4
1) Сучасні РЛС	5
1.1 Тенденції розвитку сучасних РЛС	5
1.1.1 Світові тенденції розвитку систем активної радіолокації	5
1.1.2 Світові тенденції розвитку систем пасивно] радіолокації	7
1.2 Різновид сучасних РЛС	12
1.3 Способи виявлення рухомих цілей	18
1.4 Висновки до першого розділу	20
2) РЛС на основі ефекту Доплера	21
2.1 Застосування ефекту Доплера	21
2.2 Типи РЛС на ефекті Доплера	22
2.3 Способи радіолокаційного обзору визначеного простору	23
2.4 Висновки до другого розділу	27
3) РЛС моніторингу простору(моя антена)	28
3.1 Структурна схема РЛС моніторингу простору	28
3.2 Антенна система	32
3.3 Розробка датчику руху для радіолокаційної системи безперервного контролю простору без сканування	37
3.3.1 Розрахунок параметрів друкованого монтажу	38
3.3.2 Розрахунки що підтверджують працездатність	41
3.3.3 Огляд готової конструкції	46
3.4 Висновки до третього розділу	48
4) Охорона праці	49
4.1 Визначення основних потенційно небезпечних та шкідливих	49

					РТ61.648415.001 ПЗ				
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Радіолокаційна система безперервного моніто- рингу рухомих об'єктів у секторі контролю	Літ.	Лист	Листів	
Розробив	Ігнатенко О.						1	74	
Переві-									
Н. Контр.									
Затвер-	Чмельов В.О.								
						РТ-г61-1 РТФ			

4.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки та гігієни праці та виробничої санітарії	50
4.2.1 Електробезпека	50
4.2.2 Відповідність параметрів мікроклімату робочої зони санітарним нормам.	52
4.3 Пожежна безпека та профілактика	55
4.4 Висновки до пожежної безпеки	59
ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	61
Додаток А Перелік елементів	
Додаток Б Специфікація ДР	
ДОДАТОК В Специфікація Підсилювача ДР	
ДОДАТОК Г Специфікація на пристрій	
ДОДАТОК Е Структурна схема	
ДОДАТОК Ж плата друкована ДР	
ДОДАТОК З плата друкована Підсилювача ДР	
ДОДАТОК И електрично принципова ДР	
ДОДАТОК І складальний кресленик ДР	
ДОДАТОК К електрично принципова Підсилювача ДР	
ДОДАТОК Л складальний кресленик Підсилювача ДР	
Додаток М Датчик руху складальний кресленик	

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

РЛС – Радіолокаційна система

ЗС – Зондуючий Сигнал

Дп – Друкована плата

МК – Мікросхема

ПЗ – Пояснювальна записка

ОП – Операційний підсилювач

РЕА – Радіоелектронна апаратура

ТУ – Технічні умови

ДН – Діаграма направленості

ФАР – Фазово антенна решітка

ШПФ – Швидке перетворення Фур'є

КПЛ – Комплекс пасивної локації

ПАЗ – Постановка активних завад

ІЧ – Інфрачервоний

ЗД – Трьохвимірний вигляд

ДР – Датчик руху

ПДР – Підсилювач датчика руху

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

***РТ61.648415.001 ПЗ***

Лист

3



## ВСТУП

Темою дипломного проєкту є Радіолокаційна система безперервного моніторингу рухомих об'єктів у секторі контролю. Актуальність вибраної теми полягає насамперед в потребі контролю території, адже зі стрімким розвитком безпілотних літаючих об'єктів, не добросовісних людей, та впливу диких тварин, в залежності від контролюваного простору тож доцільним є розробити систему яка б дозволила нам контролювати певну територію. Саме в цьому і полягає актуальність даного дипломного проєкту.

Об'єктом дослідження є РЛС побудовані на основі ефекту Доплера.

Дослідивши ефект Доплера було виявлено принцип роботи датчика руху на ефекті Доплера. Метод виявлення руху заснований на зміні відображеної частоти від об'єкта. При наближенні об'єкта частота відбитого сигналу збільшується, а при віддаленні зменшується. При нерухомому об'єкті частоти які випромінюються і приймаються рівні. Це саме те що потрібно для виконання предмету дослідження, а саме: побудова багатопозиційної радіолокаційної системи моніторингу простору та виявлення рухомих об'єктів

					<i>РТ61.648415.001 ПЗ</i>	Лист
						4
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

# 1. СУЧАСНІ РАДОЛОКАЦІЙНІ СИСТЕМИ

## 1.1 Тенденції розвитку сучасних РЛС

Сучасні тенденції розвитку РЛС полягають насамперед у створенні різних типів РЛС в залежності від задач які вони будуть виконувати: засоби активної радіолокації (первинні і вторинні РЛС), засоби пасивної радіолокації (тріангуляційні, різницево-дальномірні, комбіновані), засоби із зовнішнім підсвічуванням, побіжні і цілеспрямовані [4].

Загальною тенденцією розвитку всіх радіолокаційних засобів контролю повітряного простору є поєднання переваг різних типів і комбіноване використання різних засобів у системі. Але для кожного напрямку існують свої певні тенденції розвитку, які будуть розглянуті для кожного класу засобів.

### 1.1.1 Світові тенденції розвитку систем активної радіолокації

Серед радіолокаційних засобів контролю повітряного простору найпоширенішими є первинні засоби активної радіолокації, для яких характерними є такі тенденції розвитку:

- широке використання фазованих та цифрових антенних решіток;
- перехід на цілковито твердотільні РЛС із широкосмуговими сигналами і зниженим рівнем випромінювання;
- широке використання сигнальних процесорів та інформаційних технологій при обробці та передачі інформації;
- розширення функціональних можливостей: вимірювання повних просторових координат, розпізнавання цілей, видача метеоінформації, супроводження трас і мультирадарна обробки радіолокаційної інформації;
- можливість використання в системах подвійного призначення;
- підвищення експлуатаційних характеристик [7].

Широке використання фазованих антенних решіток (ФАР), є безумовною

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						5
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

революцією в радіолокації. Це призвело до змін не лише у зовнішньому вигляді РЛС, а й в принципах їх застосування, технічного обслуговування, ремонту, тощо. Основним фактором, який стримував широке використання ФАР в оглядових РЛС у діапазонах L та S тривалий час була їхня висока вартість, але з використанням Ш-хвильоводів як випромінюючих елементів значно спростило технологію виготовлення ФАР і знизило їхню вартість [8]. На сьогодні в оглядових РЛС L та S діапазонів, у яких немає потреби в гнучкому управлінні променем у горизонтальній площині, використовуються саме такі ФАР (79К6, 64Л6, RAT-31SL).

Перехід на повністю твердотільні РЛС з внутрішньоімпульсною модуляцією і складеними зондувальними сигналами в поєднанні із використанням ФАР створив передумови для створення принципово нового за структурою та складом РЛС [8]. Завдяки складним зондуючим сигналам можна досягти необхідного енергетичного потенціалу за низьких значень імпульсної потужності, що докорінно змінює принципи побудови передавальних пристроїв. Крім того, підвищується захист РЛС від імпульсних завад.

Низька імпульсна потужність дозволяє використовувати твердотільні передавальні модулі, тим самим значно підвищується надійність передавачів, і зменшується їхні ваго-габаритні характеристики, через відмову від високовольтної апаратури [8]. Використовуючи складені зондувальні сигнали з різними законами внутрішньоімпульсної модуляції дає змогу перекрити характерні для тривалих зондувальних сигналів «сліпі дальності» в зонах виявлення цілей.

Загалом мініатюризація передавальних твердотільних модулів відкриває можливості для створення так званих «цифрових» РЛС, у яких використовуються активні ФАР із цифровим управлінням променем і на випромінювання, і на прийом. У таких РЛС передавальний та приймальний пристрої в традиційному розумінні відсутні, а мініатюрні передавально-приймальні модулі розташовані безпосередньо на антенному полотні за кожним з випромінювачів [7].

Широке використання сигнальних процесорів при обробці сигналів та ін-

					<i>РТ61.648415.001 ПЗ</i>	Лист
						6
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

формаційних технологій при обробці й передачі інформації надзвичайно розширюють функціональні можливості РЛС як засобів розвідки:

- реалізація оптимальних алгоритмів обробки сигналів на фоні завад;
- адаптація до швидкозмінних умов радіоелектронної обстановки;
- мультирадарна обробка інформації;
- відображення інформації в різних формах;
- розвинена система автоматичного контролю та діагностики;
- висока швидкість обміну інформації із зовнішніми споживачами.

Загалом широке використання спеціальних швидкодіючих процесорів та нових інформаційних технологій забезпечує швидку інтеграцію сучасних РЛС в інформаційні мережі різного призначення.

### 1.1.2 Світові тенденції розвитку систем вторинної радіолокації

До сучасних систем вторинної радіолокації належать системи державного радіолокаційного впізнавання об'єктів і системи вторинної оглядової радіолокації для управління повітряним рухом. Розробниками систем вторинної радіолокації були фактично лише дві країни: СРСР (системи РЛВ «Пароль» та «Кремний-2М» і система) і США (системи РЛВ Mk XA, Mk XII та Mk XIIA і система вторинної оглядової радіолокації (Secondary Surveillance Radar - SSR) для управління повітряним рухом). Решта країн виступали в ролі користувачів тією чи іншою системою [7].

Системою РЛВ «Пароль» користуються на сьогодні всі держави СНД. Система радіолокаційного впізнавання «Кремний- 2М» досі використовується в окремих країнах Південно- Східної Азії, Близького Сходу, Африки та Південної Америки. Систему ВОРЛ УПР використовує сьогодні лише військова авіація країн СНД, а цивільні авіаційні структури СНД поступово відмовляються від її

Використання.

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист 7
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

Система ВОРЛ УПР SSR стала міжнародною й використовується цивільною та військовою авіацією всіх країн світу (крім військової авіації СНД і країн, які

закуповували військові літаки виготовлені в СРСР). Система РЛВ Мк ХА (охоплює й режими SSR) використовується в усіх країнах НАТО та й у багатьох позаблокових країнах. Системи РЛВ Мк ХІІ, Мк ХІІА (включають і режими Мк ХА) використовуються в США, Канаді й деяких європейських країнах НАТО.[1]

Основним принципом розвитку означених систем є принцип спадкоємності, тобто модернізація уже існуючих, додаючи новітні технології зі збереженням старих. Повний перехід на новітні технології є не доцільним і економічно не вигідним. Виходячи із цього принципу, основними тенденціями розвитку систем вторинної радіолокації є: [7]

- створення нових режимів за умови незмінності самої системи (Мк ХАрежим 4 Мк ХІІ + режим S і режим 5 Мк ХІІА);
- створення режиму національного впізнавання в існуючій системі Мк ХА (Франція, Велика Британія, Польща);
- уніфікація наземних, літакових, корабельних засобів;
- створення вторинних РЛС подвійного призначення з інтегруванням режимів цивільних і військових систем;
- інтенсивне впровадження режиму S у системі SSR, який суттєво розширює інформаційні можливості системи спостереження, надає можливості автоматичної передачі даних з борта на землю й із землі на борт, забезпечує даними засоби запобігання зіткненням;[7]
- поступовий перехід до моноімпульсної обробки сигналів відповіді;
- підвищення експлуатаційної надійності за рахунок використання новітніх технологій, елементної бази, резервування;
- запровадження системи впізнавання на полі бою, що дасть змогу

					<i>РТ61.648415.001 ПЗ</i>	Лист
						8
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

здійснювати впізнавання в лініях «земля - земля» і «повітря - земля» до окремого зразка ОВТ, солдата.

У світовій практиці побудови цивільної системи радіолокаційного спостереження існує тенденція надавати вторинним радіолокаторам функції основного джерела інформації. Застосування первинних каналів є обов'язковим лише в аеродромних РЛС.

Суттєвим недоліком таких рішень є залежність якості спостереження від роботи бортової апаратури. Якщо відповідач утрачає працездатність або навмисно вимикається, втрачається контроль над повітряний судном. Останнім прикладом цього є втрата малайзійського пасажирського літака, стосовно якого відповідні служби навіть не могли визначити район пошуку.

Основними напрямками розвитку засобів вторинної радіолокації Повітряних

Сил ЗСУ є:

- реалізація режиму національного впізнавання в системі «Пароль» за принципом «свій – чужий»;
- невідкладна модернізація запитувачів системи «Пароль»;
- негайне впровадження в практику військ рухомого автономного вторинного радіолокатора «Траса», здатного працювати й у режимах міжнародної системи SSR, й у режимах систем радіолокаційного впізнавання «Пароль» та Mk XA.

Основним недоліком однопозиційних систем активної радіолокації є неможливість скритної роботи. До певного часу означений недолік виступав лише як демаскуючий фактор. З появою ж самонавідної на випромінювання зброї РЛС стали настільки вразливими, що постає питання про кризу активної радіолокації як способу розвідки повітряного супротивника. Альтернативою традиційній активній радіолокації може бути використання багатопозиційних систем радіолокації.[7]

Що стосується розвитку триангуляційних систем пасивної («тихої») радіо-

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						9
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

локації, то вони функціонально поєднуються з активною радіолокацією й розвиваються разом з нею.

На сьогодні кожна нова РЛС і перспективні розробки вже обов'язково мають у своєму складі пеленгаційні канали для визначення кутових координат постановників активних завад (ПАЗ).[7] Розвиток різницево-дальномірних (Dr-Dr) і комбінованих систем пасивної радіолокації також перейшов із фази теоретично-експериментальних досліджень у фазу практичного використання.

На сьогодні прикладами таких багато позиційних пасивних систем є сімейство систем VERA та система «Кольчуга-КЕ», які перебувають на озброєнні і здатні виявляти літаки за сигналами, які випромінюються бортовою апаратурою SSR, Mk XA, Mk XII, «Пароль».[4]

У рамках діяльності ICAO розвиваються багатопозиційні різницево-дальномірні системи вторинної локації MLAT, які працюють у системах SSR та Mk XA, Mk XII. Європейська система CELLDAR та американська система «Silent Sentry» є прикладами багатопозиційних пасивних систем, які працюють у полі підсвічування передавачів стільникового зв'язку.

На думку військових експертів, рознесенням багатопозиційним системам із зовнішнім підсвічуванням, подібним до американської системи «Silent Sentry» та європейської CELLDAR, притаманне достатньо широке коло переваг, і вони можуть стати одним з найефективніших засобів радіолокаційної розвідки повітряного простору. Проте рознесені багатопозиційні системи також не можуть розглядатись як ідеальний засіб радіолокаційної розвідки, оскільки мають такий суттєвий недолік, як втрата працездатності за відсутності випромінювань об'єктами розвідки (режим радіомовчання) або за відсутності зовнішнього підсвічування.[4]

Вихід, може бути в інтеграції активно-пасивних радіолокаційних засобів систем контролю повітряного простору. Для цього є об'єктивні передумови, пов'язані з використанням радіочастотного ресурсу. Історично склалося так, що радіочастотні діапазони роботи первинних і вторинних РЛС цивільного та військового призначення, а також можливих зовнішніх джерел підсвічування

					<i><b>PT61.648415.001 ПЗ</b></i>	Лист
						10
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

(стілньниковий зв'язок, ГЛОНАС, GPS таїн.) розташовані поруч. Особливо це характерно для L-діапазону, який характеризується такими особливостями:[4]

- виділені частоти для активної локації (23 см);
- є джерела випромінювання (передавачі стільникового зв'язку), що створює умови для виявлення повітряних об'єктів у полі їх підсвічування у пасивному режимі;
- працюють системи SSR, Mk XA, Mk XII, Mk XI<sup>^</sup>, «Пароль», що створює умови для виявлення літаків у пасивному режимі за сигналами, що випромінюються бортовим обладнанням цих систем.[4]

Дослідження проведені в Харківському університеті Повітряних Сил показують, що найбільший ефект від інтеграції активно-пасивних радіолокаційних засобів систем контролю повітряного простору може бути отриманий у класі РЛС виявлення маловисотних цілей, які працюють у L-діапазоні. У цьому діапазоні можливе створення уніфікованої активно-пасивної маловисотної РЛС кругового огляду з електронним скануванням, яка може працювати в таких режимах:

- як однопозиційна активна РЛС із круговим оглядом простору;
- як елемент багатопозиційної системи пасивної локації, здатної виявляти повітряні об'єкти за сигналами бортової апаратури систем SSR, Mk XA, Mk XII, Mk XIIA, «Пароль»;
- як елемент багатопозиційної системи радіолокації із зовнішнім побіжним підсвічуванням, здатної працювати в полі підсвічування передавачів стільникового зв'язку;
- як активний або пасивний елемент багатопозиційної системи радіолокації із зовнішнім цілеспрямованим підсвічуванням.

Розташування таких РЛС на вежах висотою 30 м на відстані прямої видимості і створення на їх основі необслуговуваних маловисотних радіолокаційних постів дасть змогу створити перспективну інформаційну мережу, яка становитиме основу системи радіолокаційної розвідки повітряного супротивника в Повітряних Силах Збройних Сил України.[4]

					<i>PT61.648415.001 ПЗ</i>	Лист
						11
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		



## 1.2 Різновид сучасних РЛС

Сучасні РЛС розділяють на два типи: активна радіолокація і пасивна. Активна – коли РЛС «підсвічує» об'єкт власними імпульсами і розрахунки проводяться, порівнюючи параметри власного сигналу опромінювання «сигналу підсвічування» із сигналом, що відбивається від об'єкта опромінювання.

В активній радіолокації (інакше, в активній радіолокації з пасивною відповіддю) радіосигнали, які приймаються, утворюються в результаті вторинного випромінювання (відбиття) цілями радіохвиль (пасивна відповідь), що випромінюються РЛС. Активний характер радіолокації проявляється в необхідності використання випромінювання РЛС. Спрощений склад такої РЛС наведено на рис. 1.2.1, а.[1]

Радіопередавальний пристрій (РПП) формує потужні високочастотні коливання, які через антену передавача Ап випромінюються в напрямку цілі. Випромінені коливання (зондувальний сигнал), що досягли цілі, відбиваються від неї. Частина енергії відбитого сигналу приймається антеною приймача Апр і надходить у радіоприймальний пристрій (РПрП) для аналізу та отримання інформації про ціль. При розташуванні приймальної позиції в безпосередній близькості від передавальної радіолокаційний засіб називається однопозиційним або поєднаним (рис. 1.2.1, а). Якщо приймальний пункт віднесений від передавача на деяку базу Б (рис. 1.2.1, б, в), то радіолокаційний засіб називається рознесеним.[1]

База Б може бути постійною (рис. 1.2.1, б) і змінною (рис. 1.2.1, в). В останньому випадку, наприклад, РПП з антеною Ап встановлюють на землі, а РПрП з антеною Апр на зенітній керованій ракеті (рис. 1.2.1, в).[1]. Радіолокаційна система (станція) може містити декілька рознесених у просторі передавальних, приймальних або приймально-передавальних позицій. Таку систему називають багатопозиційною.

У радіолокації з активною відповіддю (або у вторинній радіолокації), на відміну від активної радіолокації з пасивною відповіддю, на цілі встановлюється відповідач, тобто приймально-передавальний пристрій, 22 який приймає випромінений сигнал (сигнал запиту), формує сигнал відповіді і випромінює його (активна відповідь) у напрямку запитувача (рис. 1.2.1, г). При цьому помітно підвищується дальність спостереження радіолокаційних цілей. Такий вид радіолокації використовується, наприклад, для визначення державної належності цілей «свій – чужий». [1]

«Свої» літаки видають кодовану відповідь на відповідний кодований сигнал запиту, а «чужі» – не видають. Крім того, шляхом зміни формату відповідей забезпечується як впізнавання цілей, так і одержання додаткової інформації про висоту польоту літака, запас пального на борту та ін.

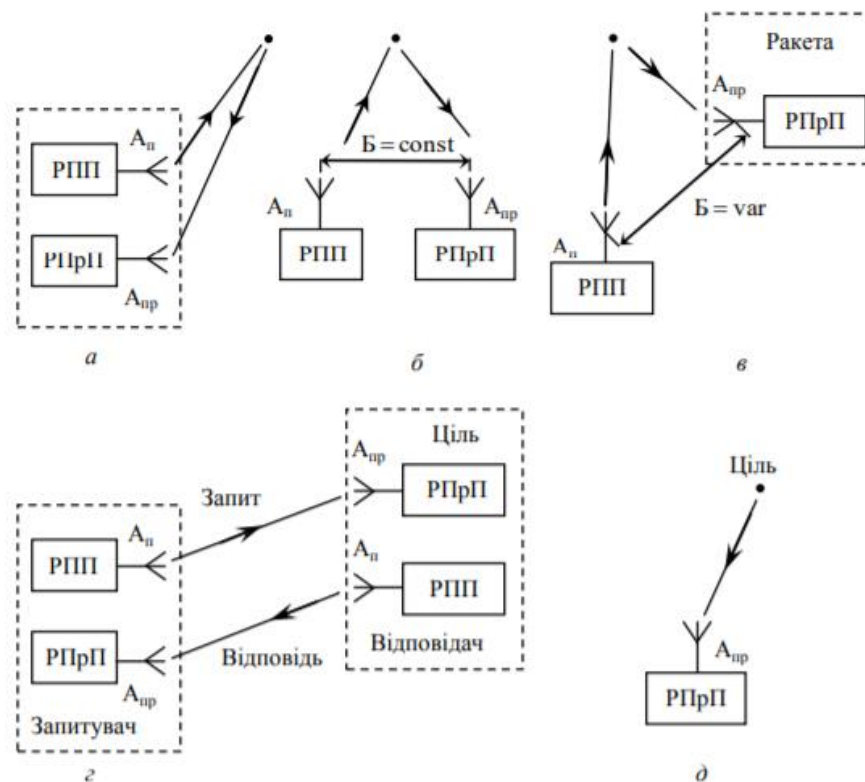


Рис. 1.2.1 Принцип роботи сучасних РЛС

Пасивна – коли РЛС (як правило, не менше двох) аналізують власне випромінювання об'єктів радіолокації (використовуючи поняття радіо контраст-

ної цілі, яка випромінює, чи аналізуючи інфрачервоне випромінювання об'єкта, наприклад, роботу двигуна літального апарата (ЛА), бронетехніки чи електростанції засобів зв'язку, РЕБ, тощо.[1].

Пасивна радіолокація використовує власне радіовипромінювання цілей (рис. 1.2.1, д). Такі випромінювання створюються навігаційними Б = const РПП РПрП РПП РПрП РПП РПрП Ап Ап Апр Апр Апр

Ракета Б = var РПрП Апр РПП РПрП Ап Апр РПрП

Апр РПП Ап Запит Запитувач Відповідач Відповідь а б в г д Ціль Ціль (Рис. 1.2.1.).[1]

Види радіолокації 23 приладами, засобами зв'язку та станціями постановки радіозавад цілі. Прийом радіохвиль може здійснюватися одним (рис. 1.2.1, д) або декількома рознесеними приймальними пристроями. Власні випромінювання цілей створюються і в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні частот іонізованими утвореннями навколо цілі за рахунок нагрівання ділянок поверхні цілі. Так, літаки з турбореактивними двигунами випромінюють в ІЧ діапазоні за рахунок нагрівання деталей їх двигунів до 500...1000 К.

Літаки з поршневыми двигунами випромінюють в основному за рахунок нагрівання вихлопних патрубків, а також вуглецевих часток вихлопних газів. З огляду на тепловий характер виникнення власних ІЧ випромінювань використовують поняття «пасивна радіотеплолокація».

У ході бойових дій радіолокаційна система РЛС буде діяти в складній завадовій обстановці. Широке використання противником постановників активних завад (ПАЗ) для прикриття засобів повітряного нападу диктує необхідність створення таких радіолокаторів, що зможуть вирішувати завдання виявлення на фоні завад як цілей, що не випромінюють, так і ПАЗ за їхнім випромінюванням.

Вирішення завдання виявлення ПАЗ, визначення їхніх координат і параметрів трас за допомогою методів пасивної радіолокації дозволяє зберегти ви-

соку ефективність засобів активної радіолокації в складній завадовій обстановці при технічно реалізованих енергетичних параметрах РЛС і прийнятних за складністю й вартістю пристроях завадозахисту.

Місце розташування ПАЗ у просторі визначається шляхом багатопозиційного прийому й спеціальної обробки випромінюваних ціллю завадових коливань, що суттєво збільшує інформаційні можливості радіолокаційної системи РЛС.[1]

Підсистеми пасивної радіолокації можуть в принципі забезпечити виявлення й супровід трас не тільки ПАЗ, а й цілей, які мають на борту інші джерела випромінювання (радіолокаційні, зв'язку, навігаційні й ін.).[1] Рівень таких випромінювань (як і шумових завад) на вході приймача найчастіше значно перевищує рівень власних шумів і ехосигналів, що дозволяє виявити випромінювальні цілі практично на відстанях прямої видимості.

За принципами побудови підсистема пасивної радіолокації істотно відрізняється від підсистеми активної радіолокації. Існує декілька основних відмінностей: засоби пасивної радіолокації не випромінюють, це забезпечує прихованість їхньої роботи й ускладнює противникові організацію радіоелектронної протидії; системи пасивної радіолокації мають бути багатопозиційними.

Це обумовлено тим, що в одному приймальному пункті можна виміряти тільки кутові координати випромінювального об'єкта й не можна, як правило, визначити дальність до цілі. Сукупність декількох взаємозалежних приймальних пунктів, пильна обробка вихідної інформації яких дозволяє визначити просторові координати випромінювальних цілей й відселектувати реальні цілі від хибних, називається комплексом пасивної локації (КПЛ).[1]

Відомі три основні методи пасивної радіолокації: триангуляційний (кутомірний, пеленгаційний), кутомірно-різницево-далекомірний і різницево-далекомірний. У комплексах пасивної радіолокації, що реалізують триангуляційний метод, на приймальних пунктах (О1, О2 рис. 1.2.2) виміряються кутові координати постановників активних завад. Кожній кутовій координаті,

					<i><b>РТ61.648415.001 ПЗ</b></i>	Лист
						15
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

вимірюваній у приймальному пункті, можна поставити у відповідність певну координатну поверхню – поверхню можливого положення цілі. Під координатною поверхнею положення цілі (а на площині під лінією положення) будемо розуміти геометричне місце точок, що відповідають одному значенню координати в просторі (на площині).

Наприклад, азимутальна поверхня положення являє собою вертикальну напівплощину, а кутомісна поверхня положення – конус із вершиною в точці знаходження приймального (пеленгаційного) пункту (рис. 1.2.2).[1]. Перетин цих поверхонь створює координатну лінію або лінію положення, що являє собою промінь, який виходить із точки прийому.

Для визначення точки положення цілі на цій лінії необхідна третя координатна 25 поверхня. Нею може бути координатна поверхня азимута або кута місця, вимірювана іншим приймальним пунктом. Перетин трьох поверхонь положення дає точку положення цілі в просторі (1.2.2) .[1]

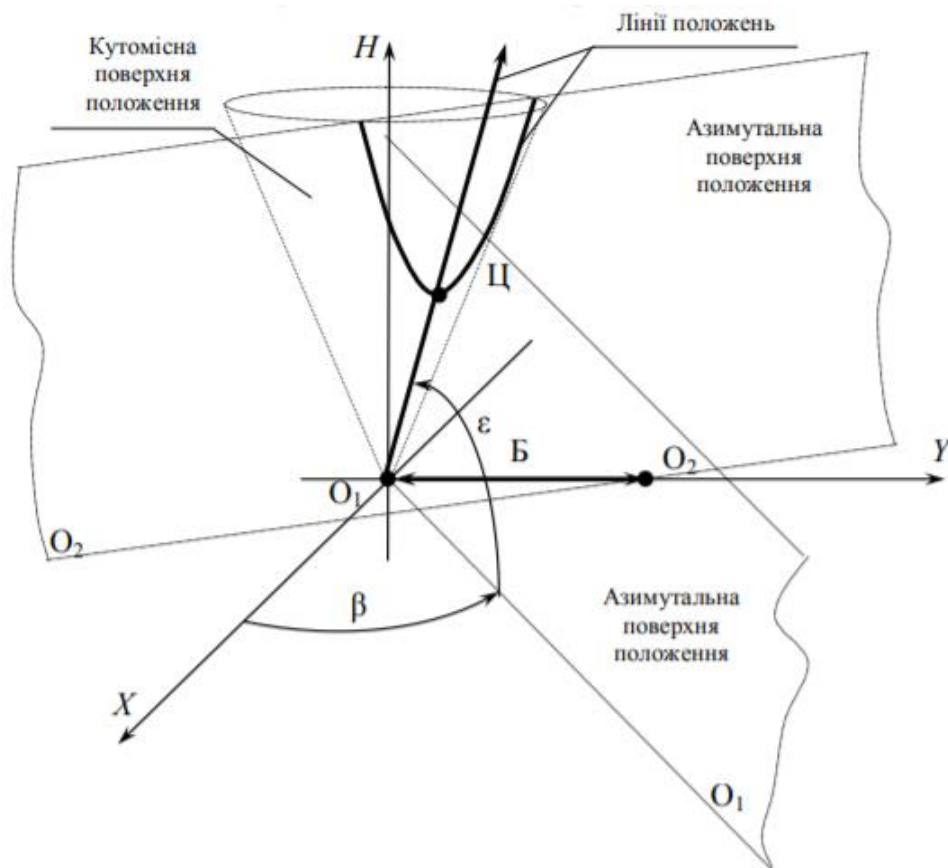


Рис. 1.2.2 Триангулярний метод у комплексах пасивної радіолокації

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

**PT61.648415.001 ПЗ**

Лист  
16

Визначення положення цілі в триангуляційних комплексах пасивної локації визначення просторових координат цілі триангуляційний комплекс повинен мати не менше двох приймальних пунктів, рознесених у просторі на деяку відстань  $B$ , яка називається базою комплексу. Принцип визначення дальності до цілі (постановника активних завад) при використанні триангуляційного методу пасивної радіолокації показано на рис. 1.2.3. [1]

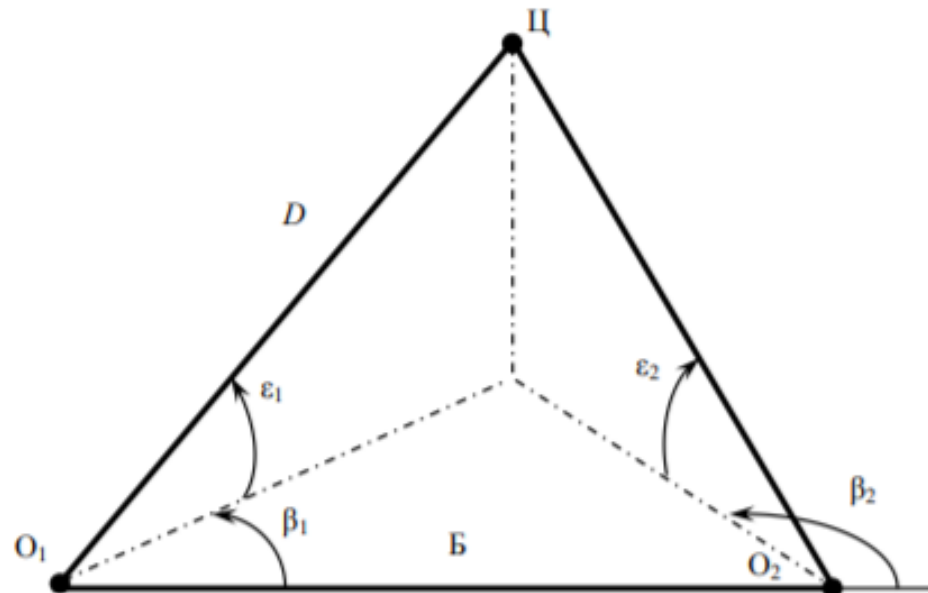


Рис. 1.2.3 Визначення положення цілі в триангуляційних комплексах пасивної локації

Підсистема пасивної радіолокації не виключає застосування підсистеми активної радіолокації, тому що в протилежному разі противник відмовиться від застосування завад. Тому комплекси підсистем пасивної й активної радіолокації повинні працювати в тісній взаємодії у тих самих частотних діапазонах і здійснювати синхронний огляд простору за кутовими координатами.

При неузгодженому огляді простору постановник завад може бути не виявленим ні тими, ні іншими засобами. Наприклад, у разі, коли завада створюється короткочасно тільки при знаходженні ПАЗ у головному промені діаграми спрямованості антени активної РЛС. Очевидно також, що виявлення ПАЗ ускладнюється (або стає неможливим) при роботі засобів активної й пасивної радіолокації, що поєднуються, в різних частотних діапазонах.

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

**PT61.648415.001 ПЗ**

Лист  
17

Кожному з розглянутих методів пасивної радіолокації властиві свої переваги й недоліки. Однак у підсистемі пасивної радіолокації РТВ найбільш поширений тріангуляційний метод, при використанні якого спрощується технічна реалізація комплексу пасивної локації (КПЛ), і нескладно забезпечити тісну взаємодію засобів активної й пасивної радіолокації.[1] Надалі при використанні в підсистемі активної радіолокації багатопозиційних комплексів з метою підвищення ефективності підсистеми пасивної радіолокації в ній застосовуватимуться й інші методи пасивної радіолокації.

### 1.3 Способи виявлення рухомих цілей

Спосіб виявлення рухомих цілей імпульсним локатором, який полягає у тому, що виділяють комплексну обвідну прийнятих відбитих від цілей локаційних сигналів, здійснюють її перетворення у цифрові комплексні відліки, з яких формують строби дальності, де визначають модулі різниць між відліками[5] та підсумовують їх, а результат порівнюють з пороговим значенням, яке встановлюють, виходячи з необхідної імовірності хибного виявлення цілі, та приймають рішення про виявлення цілі при перевищенні порогового значення, який відрізняється тим, що додатково у кожному стробі дальності, який обмежують послідовністю  $N$  комплексних відліків, відбитих від одного радіолокаційного об'єму, вимірюють частоту  $F$  гармонічної складової цієї послідовності комплексних відліків, а модулі різниць визначають для тих пар комплексних відліків, які розділені між собою однаковим інтервалом часу, значення якого визначають за виміряною частотою.[5]

Другий спосіб відрізняється від першого тим, що інтервал між комплексними відліками для розрахунку модулів їх різниць визначають як кількість періодів зондуючих імпульсів, що їх розділяють, яку отримують шляхом нелінійного перетворення виміряної частоти гармонічної складової в ціле число  $D$ . Третій спосіб відрізняється від другого тим, що нелінійне перетворення здійснюють за наступним правилом кусково-лінійної апроксимації. [5]

					<b>РТ61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						18
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

Спосіб належить до галузі обробки радіолокаційних сигналів та також може бути використаний при створенні імпульсних доплерівських гідро-звукових та оптичних локаційних систем. Відомий спосіб однократної через-періодичної компенсації сигналів, відбитих від нерухомих об'єктів, за якими послідовно розраховують модулі різниць між парами дискретних відліків вихідного сигналу фазового детектора радіолокаційної станції, що розділені між собою інтервалом часу, який дорівнює одному періоду зондуючих імпульсів.

Спільними ознаками відомого способу та запропонованого є формування дискретних відліків сигналу та розрахунок модулів різниць між їх парами. Але скільки інтервал часу між цими парами є незмінним, то це значення модулів різниць зменшуються для цілей з малими швидкостями, що сприяє суттєвому погіршенню ймовірності їх виявлення.[5]

Більш дієвим є спосіб виявлення групової цілі імпульснодоплерівською РЛС, який полягає у тому, що виділяють комплексну обвідну прийнятих відбитих від цілі сигналів, здійснюють її перетворення в цифрові комплексні відліки, формують строби дальності шляхом підсумовування цифрових відліків сигналів в межах інтервалів, які дорівнюють тривалості зондуючого імпульсу, піддають отримані в результаті підсумовування сигнали амплітудному зважуванню, здійснюють фільтрову обробку сигналів за алгоритмом швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), обчислюють значення модулів комплексної обвідної сигналів доплерівських частот на виході фільтрів ШПФ, вибирають сигнал з найбільшим значенням модуля комплексної обвідної і визна-чають відповідний йому строб дальності і сигнал доплерівської частоти, для всіх сигналів доплерівських частот вибраного строба дальності визначають коефіцієнти послаблення комплексних амплітуд сигналів усіх частот, за допомогою обчислених коефіцієнтів розраховують модуль різниці амплітуд сигналів між комплексними амплітудами сигналів доплерівських частот і добутку максимальної комплексної амплітуди сигналу частоти на відповідні коефіцієнти послаблення, порівнюють отриману різницю амплітуд сигналів з пороговим значенням амплітуди, яке встановлюють виходячи з необхідного

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						19
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		



значення імовірності помилкового виявлення групової цілі, при перевищенні порогового значення хоча б одним значенням різниці амплітуд сигналів приймають рішення про виявлення групової цілі.[5

#### **1.4 Висновки Першої глави**

В цьому розділі було розглянуто види сучасних РЛС, а саме тенденції розвитку, різновид сучасних РЛС, та способи виявлення рухомих цілей.

Виявили, що сучасні тенденції розвитку РЛС полягають насамперед у створенні різних типів РЛС в залежності від поставлених на них задач. Різновид сучасних РЛС вкрай різноманітний, будьто РЛС для виконання військових цілей, чи цивільних. При розгляданні способів виявлення цілей був вибраний подальший метод роботи.

					<b><i>РТ61.648415.001 ПЗ</i></b>	Лист
						20
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2. РАДІОЛОКАЦІЙНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ЕФЕКТУ ДОПЛЕРА

### 2.1 Застосування ефекту Доплера

Ефект названий на честь австрійського фізика Крістіана Доплера. Спостерігаючи за хвилями на воді, Доплер припустив, що подібні явища відбуваються в повітрі з іншими хвилями. На підставі хвильової теорії він в 1842 році припустив, що наближення джерела світла до спостерігача збільшує спостережувану частоту, віддалення зменшує її.[5]

Доплер теоретично обґрунтував залежність частоти звукових і світлових коливань, що сприймаються спостерігачем, від швидкості і напрямку руху джерела хвиль і спостерігача відносно один одного. На основі цього можна легко відрізнити рухомі і не рухомі об'єкти. Доплер використав цей принцип в астрономії і провів паралель між акустичним і оптичним явищами. Він вважав, що всі зірки випромінюють біле світло, однак колір змінюється через їх рух до або від Землі (цей ефект, для розглянутих Доплером подвійних зірок, дуже малий).[5]

На даний час ефект доплера застосовується в багатьох сферах: військовій, охоронній, службових, медицині, в повсякденні в системах автоматизації. У військовій сфері це на самперед виявлення рухомих об'єктів в просторі будучи то в небі, на суші чи на морі, радіо розвідки. В охоронній сфері це на самперед контроль території, сигналізації.[5] У службовій сфері — це дорожні радары для визначення швидкості руху, якими оснащені правоохоронні органи. В медицині — займають важливе місце в ультразвукової діагностики, вони дозволяють вивчати динаміку ряду фізіологічних процесів в організмі, оцінювати швидкості і напрямки течії крові, рух кардіоструктур і стінок кровоносних судин. У системах автоматизації — це датчики автоматичного відкриття дверей, автоматичного увімкнення, вимкнення світла, та багато іншого.

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						21
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

## 2.2 Типи РЛС на ефекті Доплера

Типів РЛС на основі ефекту Доплера є багато одними з основних можна вважати РЛС для розпізнавання рухомих цілей, для контролю території, радари для визначення швидкості, РЛС для космічних цілей( визначення відстаней та швидкостей тих чи інших зірок), тощо.[20]

Ефект Доплера використовується в радіолокації для розпізнавання рухомих об'єктів, наприклад літаків, дронів, на фоні нерухомих (гір, хмар). Виявлення противника при розвідці. За червоним зміщенням світла від астрономічних об'єктів, вимірюється їхня швидкість і розраховується відстань до них.

В радарах для визначення швидкості руху Дорога Leradar випромінює хвилю (звичайно сантиметр), що відбивається від перешкод, розташованих в загостреному напрямку.[19] Різниця між частотою переданої хвилі та частотою прийнятої хвилі дозволяє повернутись до швидкості розглянутої перешкоди. Допплесерерт метеорологічний радар для оцінки інтенсивності порушень і відстані, на якому вони знаходяться. Він також може вимірювати швидкість та орієнтацію руху цих порушень. Радіохвилі випускаються в атмосферу і відбиваються від частинок, що утворюють перепони. Аналіз довжини отриманих хвиль дозволяє визначити, чи відхиляються або наближаються порушення.[19]

					<i>PT61.648415.001 ПЗ</i>	Лист
						22
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

## 2.3 Способи радіолокаційного огляду визначеного простору

Для реалізації паралельного огляду простору за кутовими координатами радіолокаційне спостереження повинно здійснюватися по всій зоні огляду одночасно, шляхом використання багатопроменевої діаграми направленості (ДН) антени і багатоканального приймача, число каналів в якому більше або дорівнює числу антенних променів. Така побудова РЛС на практиці не використовується, як занадто витратна. [3]

Послідовний огляд проводиться за допомогою одного променя і одноканального приймача, що істотно спрощує конструкцію радіолокатора. При цьому зона видимості проглядається послідовно в часі шляхом переміщення (сканування) ДН антени по кутовій координаті.

Антени РЛС з послідовним оглядом можуть мати діаграми двох основних видів – голчасті і віялоподібні. При цьому огляд може бути круговим або секторальним. Круговий огляд може бути реалізований, наприклад, шляхом механічного обертання антени з віяло подібній ДН в азимутальній площині з постійною кутовою швидкістю  $W$  а Рис.2.3.1. [3]

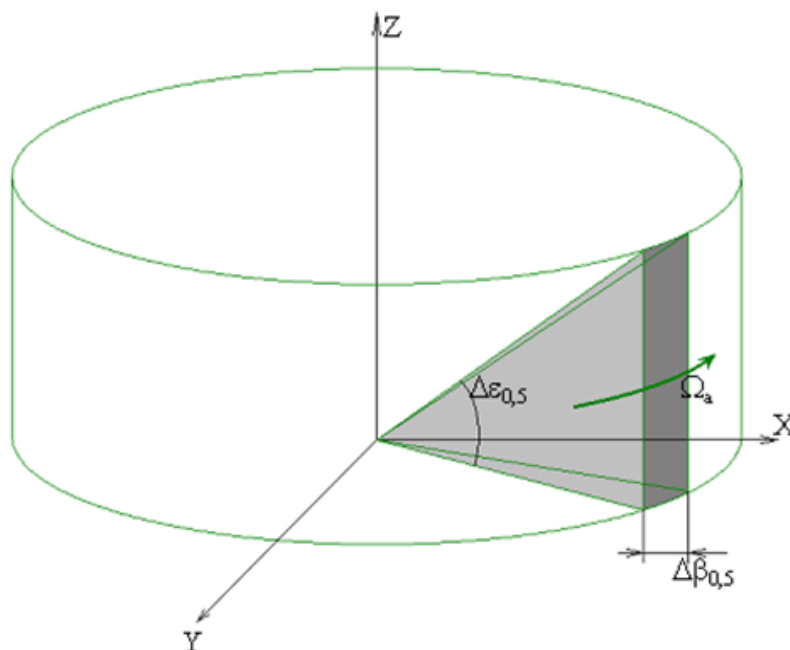


Рис. 2.3.1 Круговий огляд за допомогою віяло подібної ДН

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

**PT61.648415.001 ПЗ**

Лист  
23

Одноразовий огляд зоною видимості здійснюється за час  $T_{\text{огл}}$ , зване періодом огляду (2.1)

$$T_{\text{огл}} = \frac{2\pi}{\theta_a} \quad (2.1)$$

Якщо в зоні видимості присутній об'єкт, то сигнал, відбитий від об'єкта і прийнятий антеною РЛС, пропорційний зонduючого сигналу, промодульованій квадратом перетину ДН в площині сканування антени Рис.2.3.2 При збігу максимуму ДН з кутовим становищем об'єкта амплітуда прийнятого сигналу досягає максимуму. [3]

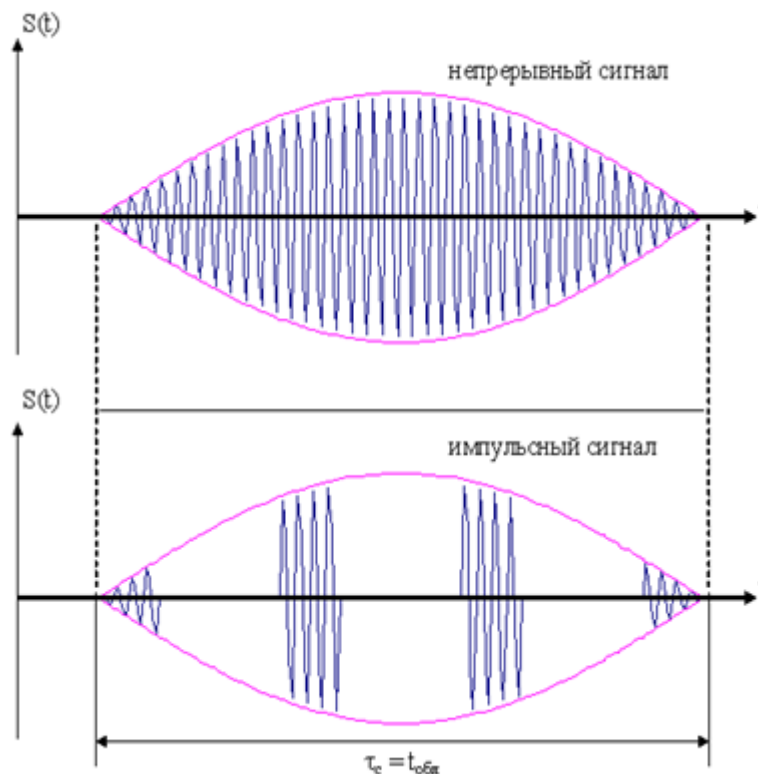


Рис.2.3.2 Форма прийнятого сигналу

З рисунку видно, що в разі кутового сканування з безперервним переміщенням променя вид сигналу істотно залежить від форми ДН. Як для безперервного, так і для імпульсного сигналу тривалість прийнятої посилки дорівнює часу опромінення мети:

$t_{\text{обл}} = D Q 0,5 / W$  а, де  $D Q 0,5$  - ширина променя ДН за рівнем половинної потужності в площині сканування антени.

Віялова форма діаграми дозволяє охопити всю зону видимості по  $\epsilon$  за

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

**PT61.648415.001 ПЗ**

Лист

24

одне зондування, проте не дозволяє виміряти значення цієї координати, тому РЛС, які використовують таку ДН, як правило, двокоординатні. [3] У трикоординатних РЛС, що вимірюють дальність і обидві кутові координати, використовується ДН голчастою форми, а огляд здійснюється послідовним переміщенням променя в обох площинах. Розглянемо один з варіантів кругового огляду для РЛС з фазованою антенною решіткою Рис. 2.3.3.[3]

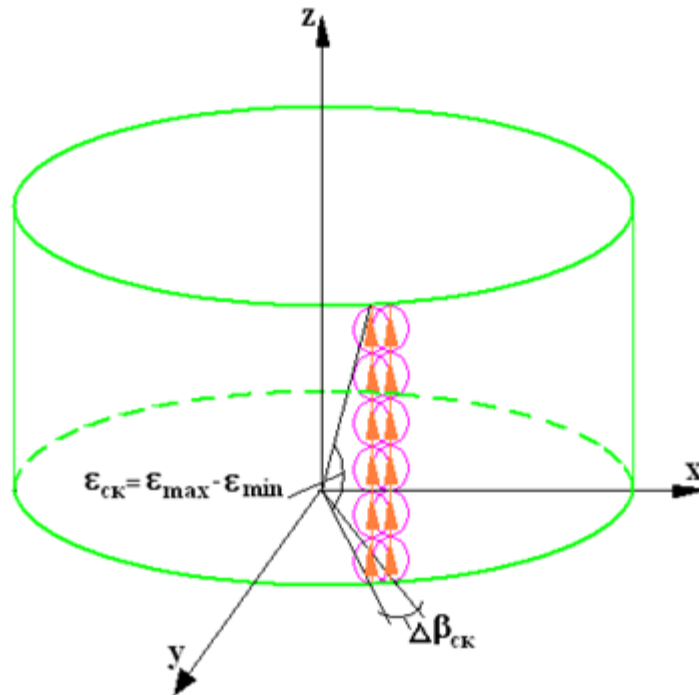


Рис. 2.3.3 Круговий огляд за допомогою голко подібної ДН

При фіксованому значенні азимута максимум ДН послідовно з інтервалом  $D \epsilon_{ск}$ , званим кроком сканування по  $\epsilon$ , переміщається від мінімального  $\epsilon_{н}$  до максимального  $\epsilon_{д}$  до значень, після чого знову повертається в положення  $\epsilon_{н}$ , зміщуючись при цьому на один крок сканування по азимуту  $D \beta_{ск}$ .

Далі цикл огляду повторюється і таким чином здійснюється круговий огляд в азимутальній площині і секторний в угломестной. Крок сканування підбирається так, щоб виключити ділянки неспостережуваних простору між сусідніми променями. Залежно від розв'язуваних РЛС завдань і характеристик ДН сканування може вестися з перекриттям сусідніх променів  $D \epsilon_{ск} < D \epsilon_{0,5}$ ,  $D \beta_{ск} < D \beta_{0,5}$ , або без нього  $D \epsilon_{ск} = D \epsilon_{0,5}$ ,  $D \beta_{ск} = D \beta_{0,5}$ . Обидва варіанти вибору кроку сканування проілюстровані на Рис.2.3.3. За азимутом показано

сканування з перекриттям  $D_b \text{ ск} < D_b 0,5$ , а за кутом місця без перекриття  $D_e \text{ ск} = D_e 0,5$ . [3]

Секторний огляд по кутових координатах, як правило, використовується в РЛС супроводу цілей і ракет. Він передбачає випромінювання і прийом пачки імпульсів для поточного кутового напрямку і лише потім перенесення променя на наступний напрямок. При цьому лінія огинає сигналу має прямокутну форму, і не залежить від параметрів ДН. [3]

Розглянуті приклади послідовного огляду по кутових координатах відносяться до випадку огляду по жорсткої програмі, коли ДН переміщається незалежно від результатів радіолокаційного спостереження. На практиці РЛС виявлення і супроводу цілей можуть використовувати і гнучкі програми огляду. Наприклад, в непарні періоди відбувається огляд, аналогічний розглянутим жорстким програмам огляду, а в парні здійснюється підсвет лише тих кутових напрямків, в яких зафіксовані цілі. При цьому підвищується темп поновлення радіолокаційної інформації про цілі. [3]

Дальність визначення положення радіо локаційного об'єкту залежить від ефективної площі розсіювання об'єкту, при незмінній потужності передавача ЗС потужність 3,5 кВт. зображено в таблиці 2.3.1.

Таблиця 2.3.1 Дальність дії в залежності від розміру об'єкта

S	R
2 м <sup>2</sup>	870,5 м
1 м <sup>2</sup>	637,5 м
0,5м <sup>2</sup>	489,3 м
0,3 м <sup>2</sup>	183,6 м
0,2 м <sup>2</sup>	93,2 м
0,1 м <sup>2</sup>	37,5 м

Обрана довжина хвилі 3 см обумовлює мінімальні втрати енергії сигналу в негативних погодних умовах (сніг, дощ, туман тощо). При такому розмірі довжини хвилі антенні системи можна зробити ефективними та компактними.

## 2.4 Висновки другого розділу

В цьому розділі дослідили РЛС на основі ефекту Доплера, а саме застосування ефекту Доплера, типи РЛС на ефекті Доплера, та способи радіолокаційного обзору визначеного простору.

Ефект доплера в сучасному світі застосовується майже всюди, починаючи від РЛС на його ефекті, закінчуючи медициною, чи навіть звичайною автоматизацією (автоматичне відкриття дверей). Що до РЛС на ефекті доплера то вони знайшли широке застосування у різних сферах це і військова, і службова, і охоронна сфери. В пункті 2.3 наведено дальність дії в залежності від розміру об'єкта, та обрана оптимальна довжина хвилі.

					<i>РТ61.648415.001 ПЗ</i>	Лист
						27
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		



### 3. РЛС моніторингу простору

#### 3.1 Структурна схема РЛС моніторингу простору

Передавач зонduючого сигналу опромінює зону контролю в секторі від 0 до 180° у вертикальній та горизонтальній площині. Доплерівський датчик руху з першого по шостий приймають відбитий сигнал від об'єктів локації, у випадку якщо об'єкт рухомий то на виході датчиків з'явиться сигнал.

Блок визначення затримки часу здійснює обчислення  $t_{\text{затр}}$  приходу сигналу від об'єкту у вигляді різниці між моментом випромінювання зонduючого сигналу та моменту появи сигналу на виході доплерівського радару.

Синхронізатор забезпечує узгоджену роботу всіх елементів РЛС та формує дискретні відліки часу для визначення  $t_{\text{затр}}$  та відображення РЛС інформації на блоці індикації контролю простору. Два блоки живлення працюють незалежно один від одного, один із них забезпечує роботу датчиків руху та передатчика, а інший – забезпечує стабільну роботу блоку цифрової обробки сигналу [додаток Е].[21]

Якщо об'єкт нерухомий, то сигнала на виході датчика руху не буде, а якщо об'єкт рухомий, то на виході буде сигнал, і час його затримки відносно імпульса ЗС, відстань до об'єкта, буде визначатися за формулою: (3.1)

$$R_n = \tau_n \cdot C. \quad (3.1)$$

Де  $n=1..6$  – номер датчика,  $C$ - швидкість світла,  $\tau_n$ - час затримки сигналу.

Точність синхронізації роботи і точність вимірювання затримки  $\Delta t$  визначає помилки вимірів дальності, з цього отримуємо формулу для псевдо дальності:(3.2)

$$R_n = \tau_n \cdot C + \Delta t \cdot C. \quad (3.2)$$

Псевдо дальність можна об'єднати з координатами об'єкта і датчиків (3.3)

$$R_n = \sqrt{(x_0 - x_n)^2 + (y_0 - y_n)^2 + (z_0 - z_n)^2} + \Delta t \cdot C. \quad (3.3)$$

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

**PT61.648415.001 ПЗ**

Лист

28

Де:  $x_0, y_0, z_0$  – координати об'єкта,  $x_n, y_n, z_n$  – координати n-го датчика. Маємо схему побудови в якій датчики знаходяться в одній площині  $z=0$  (Рис. 3.2.1). [6]

У нульових координатах схеми розміщений випромінювач, який опромінює весь простір контролю на частоті 10 ГГц. (3.4)

$$F(\vec{x}) = \begin{cases} R_1 = \sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2 + (z_0 - z_1)^2} + \Delta\tau \cdot C \\ R_2 = \sqrt{(x_0 - x_2)^2 + (y_0 - y_2)^2 + (z_0 - z_2)^2} + \Delta\tau \cdot C \\ R_3 = \sqrt{(x_0 - x_3)^2 + (y_0 - y_3)^2 + (z_0 - z_3)^2} + \Delta\tau \cdot C \\ R_4 = \sqrt{(x_0 - x_4)^2 + (y_0 - y_4)^2 + (z_0 - z_4)^2} + \Delta\tau \cdot C \\ R_5 = \sqrt{(x_0 - x_5)^2 + (y_0 - y_5)^2 + (z_0 - z_5)^2} + \Delta\tau \cdot C \\ R_6 = \sqrt{(x_0 - x_6)^2 + (y_0 - y_6)^2 + (z_0 - z_6)^2} + \Delta\tau \cdot C \end{cases}$$

(3.4)

де  $F(\vec{x})$  – вектор спостережуваних функцій,  $\vec{x} = (x_0, y_0, z_0, \Delta\tau \cdot C)^T$  – вектор параметрів. [6]

Для визначення координат цілі примінімо метод найменших квадратів. (3.5)

$$\sum_{i=1}^n (\tilde{R}_i(x_0, y_0, z_0, \Delta\tau) - R_i)^2$$

(3.5)

Коли  $\vec{x} \rightarrow \min$ , де  $\tilde{R}_i$  – оцінка дальності до цілі,  $R_i$  – дійсна дальність до цілі,

$\vec{x} = (x_0, y_0, z_0, \Delta\tau)$  – невідомі параметри при яких квадрат помилки вимірювання буде мінімальним. [6]

Для мінімізації функції помилки позначаємо: (3.6)

$$\sum_{i=1}^n (\tilde{R}_i(x_0, y_0, z_0, \Delta\tau) - R_i)^2 = f(x)$$

(3.6)

$$\sum_{i=1}^n (\tilde{R}_i(\vec{x}) - R_i)^2 = f(x), \text{ тоді}$$

$$\frac{d}{dx} f(x) = 0$$

Для пошуку аргументу  $\bar{x}$  при якому буде досягтися мінімум, приміняємо ітеративний метод Ньютона: (3.7)

$$\bar{x}^k = \bar{x}^{k-1} + \frac{d}{dx} \cdot F(\bar{x}) \cdot (R - \tilde{R}(\bar{x})) \quad (3.7)$$

де k- номер ітерації.

Складемо матрицю Н: (3.8) [6]

$$H = \frac{d}{dx} \cdot F(\bar{x}) = \begin{pmatrix} \frac{d}{dx} R_1(\bar{x}); \frac{d}{dy} R_1(\bar{x}); \frac{d}{dz} R_1(\bar{x}); 1 \\ \frac{d}{dx} R_2(\bar{x}); \frac{d}{dy} R_2(\bar{x}); \frac{d}{dz} R_2(\bar{x}); 1 \\ \frac{d}{dx} R_3(\bar{x}); \frac{d}{dy} R_3(\bar{x}); \frac{d}{dz} R_3(\bar{x}); 1 \\ \frac{d}{dx} R_4(\bar{x}); \frac{d}{dy} R_4(\bar{x}); \frac{d}{dz} R_4(\bar{x}); 1 \\ \frac{d}{dx} R_5(\bar{x}); \frac{d}{dy} R_5(\bar{x}); \frac{d}{dz} R_5(\bar{x}); 1 \\ \frac{d}{dx} R_6(\bar{x}); \frac{d}{dy} R_6(\bar{x}); \frac{d}{dz} R_6(\bar{x}); 1 \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

Тепер перейдемо до матриці направлених косинусів (3.9)

$$\frac{d}{dx} \cdot R_i(\bar{x}) = \frac{d}{dx} \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2} + \Delta\tau \cdot C \quad (3.9)$$

$$\frac{d}{dx} \cdot R_i(\bar{x}) = \frac{x_0 \cdot x_i}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2}} = \frac{x_0 - x_i}{R_i} = -\cos(\alpha_i)$$

користуючись формулою  $R_i = \tau_i \cdot C$ , тепер наша матриця матиме такий вид: (3.10) [6]

$$H = \begin{pmatrix} -\cos(\alpha_1); -\cos(\beta_1); -\cos(\gamma_1); 1 \\ -\cos(\alpha_2); -\cos(\beta_2); -\cos(\gamma_2); 1 \\ -\cos(\alpha_3); -\cos(\beta_3); -\cos(\gamma_3); 1 \\ -\cos(\alpha_4); -\cos(\beta_4); -\cos(\gamma_4); 1 \\ -\cos(\alpha_5); -\cos(\beta_5); -\cos(\gamma_5); 1 \\ -\cos(\alpha_6); -\cos(\beta_6); -\cos(\gamma_6); 1 \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

Алгоритм розрахунку координат об'єкта:

1) Початок ітерації

$x_0 = 0, y_0 = 0, z_0 = 0, \Delta\tau = 0, k = 0$  – номер ітерації;

$D_i = (x_i, y_i, z_i)$ , для всіх датчиків  $z=0$

Посилаємо ЗС на першій ітерації  $k=1$

2) Вимірювання часу затримки сигналів: (3.11)

$$\tau_n = t_{3C} - t_{\text{датчика}} \quad (3.11)$$

На датчиках точність вимірювання становить  $\omega = 0.1$  мкс

3) Визначимо дальність до об'єкта від кожного датчика: (3.12)

$$R_1 = \tau_1 \cdot C, R_2 = \tau_2 \cdot C, R_3 = \tau_3 \cdot C, R_4 = \tau_4 \cdot C, R_5 = \tau_5 \cdot C, R_6 = \tau_6 \cdot C \quad (3.12)$$

4) Розрахуємо оцінку псевдо дальності: (3.13)

$$\tilde{R}_i^{(k)} = \sqrt{(x_0^{(k-1)} - x_1)^2 + (y_0^{(k-1)} - y_1)^2 + (z_0^{(k-1)} - z_1)^2} + \Delta\tau^{(k-1)} \cdot C \quad (3.13)$$

5) Визначимо помилку оцінки дальності: (3.14)

$$\Delta R_n^k = R_1^k - \tilde{R}_i^k, \text{ де } i = 1 - 6, n = 1 - 6 \quad (3.14)$$

6) Розрахуємо матрицю направлених косинусів: (3.15) [6]

$$H = \begin{pmatrix} \frac{x_0^{(k-1)} - x_1}{R_1}; \frac{y_0^{(k-1)} - y_1}{R_1}; \frac{z_0^{(k-1)} - z_1}{R_1}; 1 \\ \frac{x_0^{(k-1)} - x_2}{R_2}; \frac{y_0^{(k-1)} - y_2}{R_2}; \frac{z_0^{(k-1)} - z_2}{R_2}; 1 \\ \frac{x_0^{(k-1)} - x_3}{R_3}; \frac{y_0^{(k-1)} - y_3}{R_3}; \frac{z_0^{(k-1)} - z_3}{R_3}; 1 \\ \frac{x_0^{(k-1)} - x_4}{R_4}; \frac{y_0^{(k-1)} - y_4}{R_4}; \frac{z_0^{(k-1)} - z_4}{R_4}; 1 \\ \frac{x_0^{(k-1)} - x_5}{R_5}; \frac{y_0^{(k-1)} - y_5}{R_5}; \frac{z_0^{(k-1)} - z_5}{R_5}; 1 \\ \frac{x_0^{(k-1)} - x_6}{R_6}; \frac{y_0^{(k-1)} - y_6}{R_6}; \frac{z_0^{(k-1)} - z_6}{R_6}; 1 \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

7) Коректуємо рішення: (3.18)

$$\bar{x}^{(k)} = \bar{x}^{(k-1)} + H \cdot \Delta R^{(k)} \quad (3.18)$$

Тепер побудуємо систему з урахуванням корективів: (3.19) [6]

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ \Delta\tau \end{pmatrix}^k = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ \Delta\tau \end{pmatrix}^{k-1} + \begin{pmatrix} \frac{x_0^{(k-1)} - x_1}{R_1} \cdot \Delta R_1^{(k)}; \frac{y_0^{(k-1)} - y_1}{R_1} \cdot \Delta R_1^{(k)}; \frac{z_0^{(k-1)} - z_1}{R_1} \cdot \Delta R_1^{(k)}; \Delta R_1^{(k)} \\ \frac{x_0^{(k-1)} - x_2}{R_2} \cdot \Delta R_2^{(k)}; \frac{y_0^{(k-1)} - y_2}{R_2} \cdot \Delta R_2^{(k)}; \frac{z_0^{(k-1)} - z_2}{R_2} \cdot \Delta R_2^{(k)}; \Delta R_2^{(k)} \\ \frac{x_0^{(k-1)} - x_3}{R_3} \cdot \Delta R_3^{(k)}; \frac{y_0^{(k-1)} - y_3}{R_3} \cdot \Delta R_3^{(k)}; \frac{z_0^{(k-1)} - z_3}{R_3} \cdot \Delta R_3^{(k)}; \Delta R_3^{(k)} \\ \frac{x_0^{(k-1)} - x_4}{R_4} \cdot \Delta R_4^{(k)}; \frac{y_0^{(k-1)} - y_4}{R_4} \cdot \Delta R_4^{(k)}; \frac{z_0^{(k-1)} - z_4}{R_4} \cdot \Delta R_4^{(k)}; \Delta R_4^{(k)} \\ \frac{x_0^{(k-1)} - x_5}{R_5} \cdot \Delta R_5^{(k)}; \frac{y_0^{(k-1)} - y_5}{R_5} \cdot \Delta R_5^{(k)}; \frac{z_0^{(k-1)} - z_5}{R_5} \cdot \Delta R_5^{(k)}; \Delta R_5^{(k)} \\ \frac{x_0^{(k-1)} - x_6}{R_6} \cdot \Delta R_6^{(k)}; \frac{y_0^{(k-1)} - y_6}{R_6} \cdot \Delta R_6^{(k)}; \frac{z_0^{(k-1)} - z_6}{R_6} \cdot \Delta R_6^{(k)}; \Delta R_6^{(k)} \end{pmatrix}$$

(3.19)

8) Перевірка отриманої точності на поточній ітерації. Визначаємо величину зміщення координат об'єкта: (3.20)

$$\Delta\omega = \sqrt{(x_0^{(k)} - x_0^{(k-1)})^2 + (y_0^{(k)} - y_0^{(k-1)})^2 + (z_0^{(k)} - z_0^{(k-1)})^2}$$

(3.20)

Якщо  $\Delta\omega \leq \omega$  то кінець роботи алгоритму, фіксуємо координати об'єкта, якщо  $\Delta\omega > \omega$  то переходимо до пункту №2.

### 3.2 Антенна система без сканування контрольного простору

Відбитий сигнал від цілі приймають шість датчиків руху побудованих на ефекті Доплера. Зондуючий сигнал поступає в кожен датчик руху неперервно. Датчик руху порівнює ЗС та відбитий сигнал від цілі, та визначає частоту Доплера у відповідності до швидкості руху об'єкта. :[8]

Антенна система складається з 6 датчиків руху, які розтошовані в кутатах шестикутника (дивтсь рис. 3.2.1). Розташування датчиків руху і опромінювачів у просторі, визначаються координатами ( $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$ ). В центрі шестикутника розташований випромінювач передавача зондуючого сигналу. Відповідно, координати випромінювача ( $X=0$ ,  $Y=0$ ,  $Z=0$ ).

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

**PT61.648415.001 ПЗ**

Лист

32

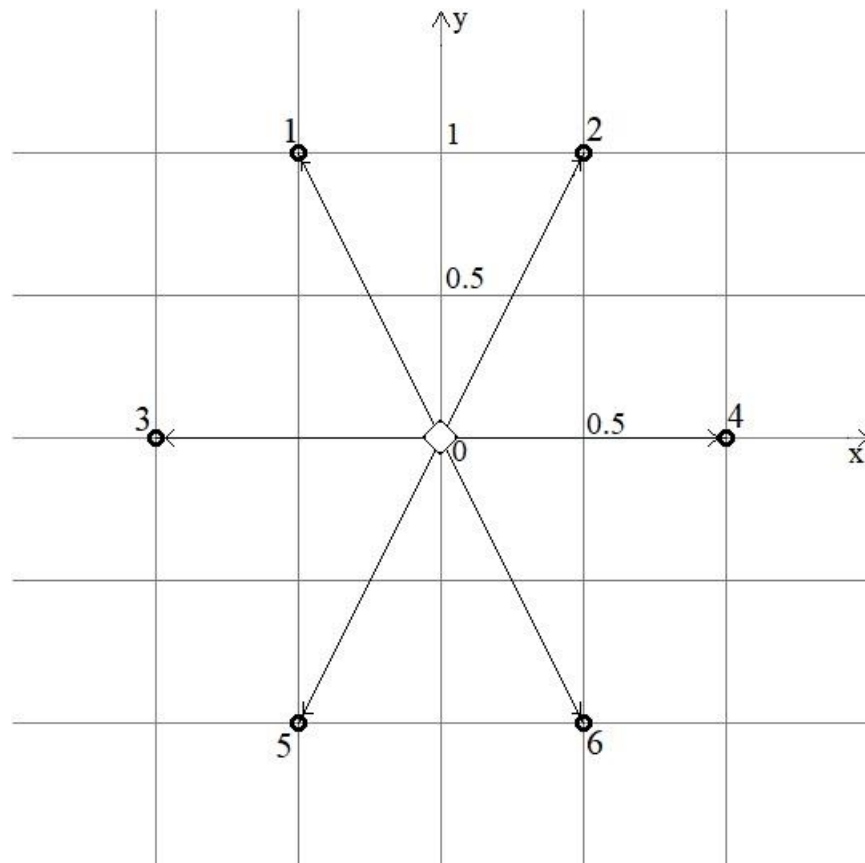


Рис. 3.2.1 Антенна система

Діаграма направленості антени випромінювача зондуючого сигналу повинна забезпечувати опромінення всього контрольного простору. Діаграми направленості антен датчиків руху повинні охоплювати відповідні сектори контрольного простору, при цьому в кожній точці цього простору повинно бути перетинання діаграм направленості не менш ніж чотирьох датчиків руху.

У якості антенних систем пропонується використовувати ФАР, параметри яких розраховані в середовищі спеціального програмного пакету Матлаб. Антенна система опромінювача контрольного простору, є проста всенаправлена антена з екраном в задній площині.

Вона буде опромінювати сектор від 0 до 180 в горизонтальній площині і від 0 до 180 в вертикальній. Для датчиків руху пропонується застосувати плоску фазовану антенну решітку, яка складається з 2\*2 антенних елементів, розраховану та схематично зображену на Рис. 3.2.2 [8]



Рис. 3.2.2 Схематичне зображення ФАР

Діаграма направленості ФАР в Азимутальній площині в прямокутній системі координат має вигляд Рис. 3.2.3:

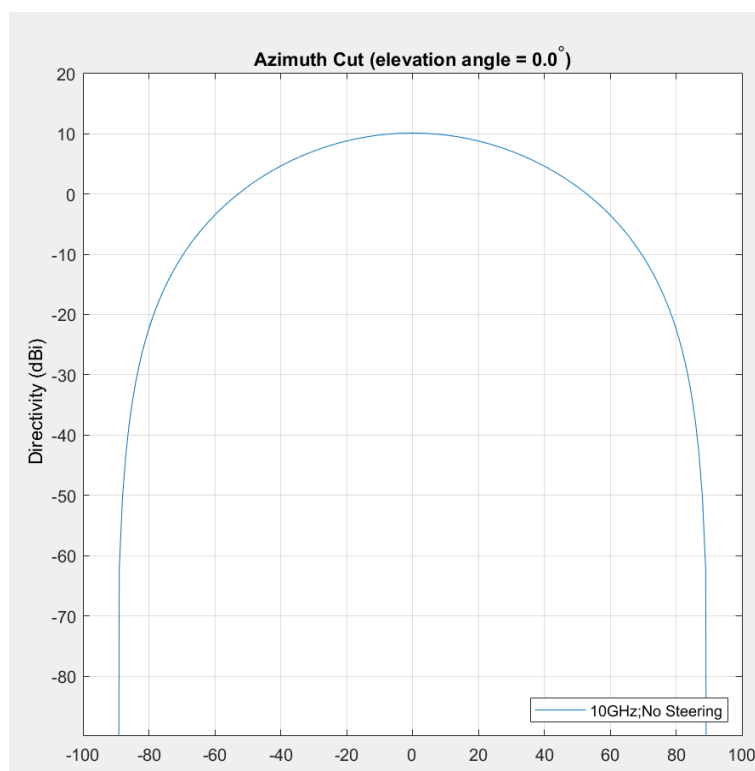


Рис. 3.2.3 ФАР в Азимутальній площині в прямокутній системі координат

Діаграма направленості ФАР в азимутальній площині в полярній системі координат має вигляд Рис.3.2.4 [8]

Зм.	Лис	№ доквм.	Підпис	Дата

PT61.648415.001 ПЗ

Лист  
34

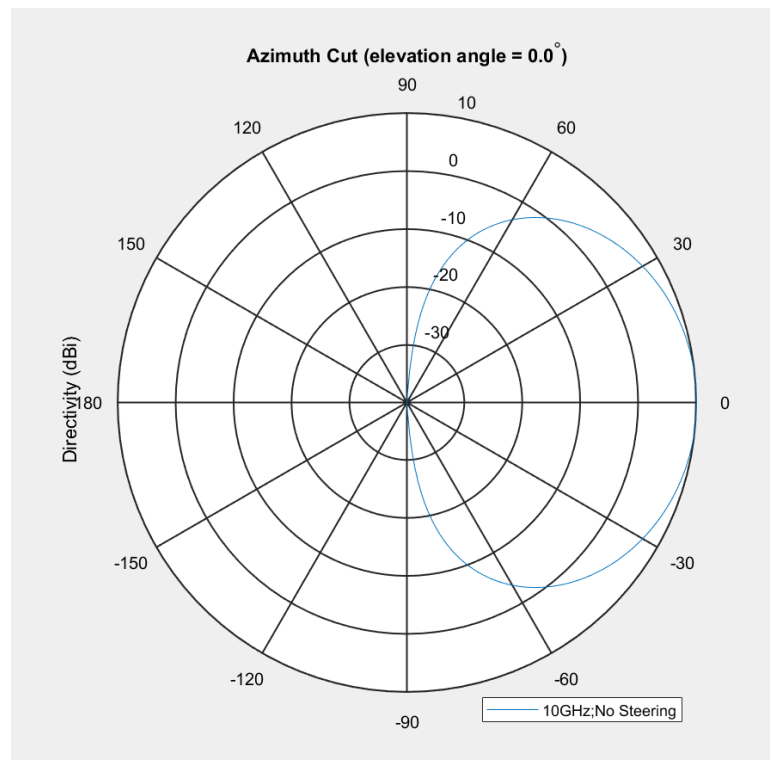


Рис. 3.2.4 ФАР в азимутальній площині в полярній системі координат

Діаграма направленості ФАР в вертикальній площині в полярній системі координат має вигляд Рис.3.2.5 [8]

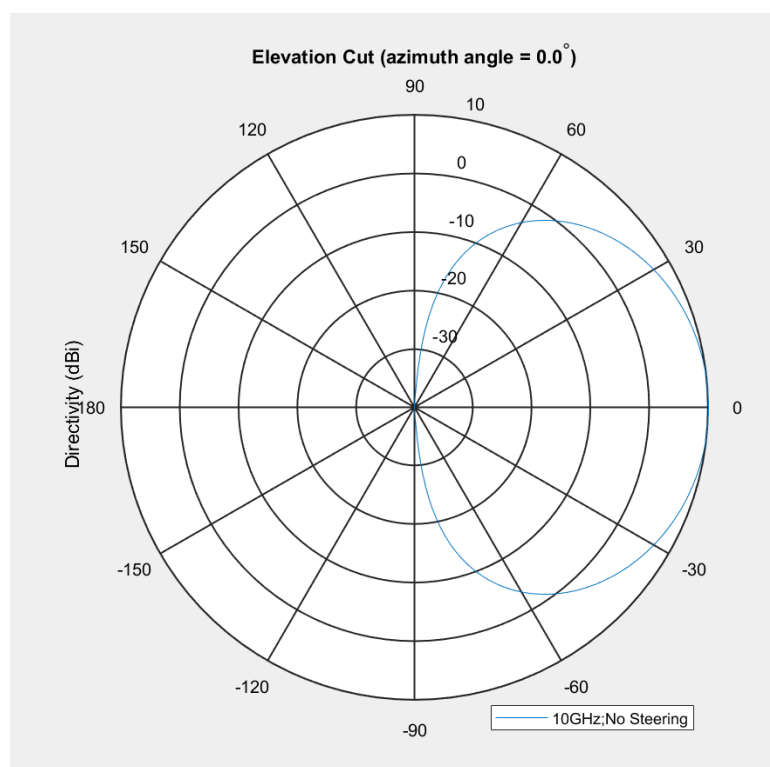


Рис. 3.2.5 ФАР в вертикальній площині в полярній системі координат

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

**PT61.648415.001 ПЗ**

Лист  
35



Трьохвимірний вигляд діаграми направленості ФАР зображений на Рис.  
3.2.6

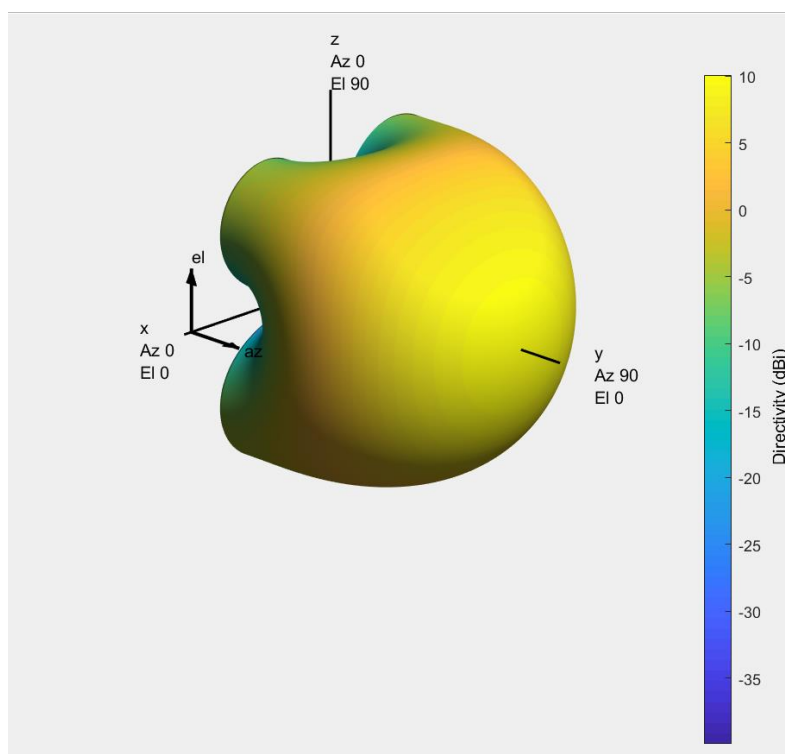



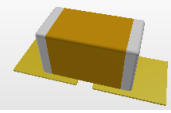
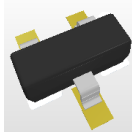
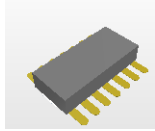

Рис. 3.2.6 Трьохвимірний вигляд діаграми направленості ФАР

### 3.3 Розробка датчику руху для радіолокаційної системи безперервного контролю простору без сканування

Для виготовлення друкованої плати блоку підсилювачу датчика руху пристрою вибирається субтрактивний комбінований позитивний метод. Для друкованої плати обирається склотекстоліт фольгований мідною електролітичною фольгою, двосторонній FR-4 35/35-1,5.[23]

Розрахуємо сумарну площу, яку займають радіоелементи на друкованій платі. Занесемо дані про габарити радіоелементів у таблицю 3.3.1

Таблиця 3.3.1

Назва	Позначення на ДП	Кількість	3D footprint	Встановочні розміри, мм	Загальна Площа, мм <sup>2</sup>
Конектор PLS-1	X1-X5	5		1,5x1,5	11,25
Конденсатор 1608	C1-C5	5		1,7x0,9	7,65
Транзистор MMBT2222A	VT1	1		3,0x2,5	7,5
ОП LM324	DA1,DA2	2		10,8*7,8	168,48
Резистор 1206	R1-R8	10		1,6*3,1	40,3
Сумарна площа					235,18

Визначивши встановлювану площу кожного ЕРЕ, визначається необхідна площа для їх встановлення визначається за формулою (3.21)

$$S = S_{\text{мг}} + 1,5S_{\text{сг}} + 2S_{\text{кг}} + S_{\text{д}} \quad (3.21)$$

Де,  $S_{\text{мг}}$  – площа малогабаритних ЕРЕ;  $S_{\text{сг}}$  – площа середньогабаритних ЕРЕ;  $S_{\text{кг}}$  – площа крупногабаритних ЕРЕ.  $S_{\text{д}}$  – площа допоміжних зон,  $S_{\text{д}}$  враховуючи площу крипільних отворів, площа яка підпадає під край плати також враховуються конструктивні особливості пристрою, допоміжна зона складає порядку  $1200 \text{ мм}^2$

$$S = (7,65 + 40,3) + 1,5 \cdot (11,25 + 7,5) + 2 \cdot 168,48 + 1200 = 1614 [\text{мм}^2]$$

### 3.3.1 Розрахунок параметрів друкованого монтажу

Розрахувати:

- –діаметри монтажних отворів  $d_0$ ;
- –діаметри контактних майданчиків  $D$ ;
- –ширину друкованих провідників  $t$ ;
- –відстань між сусідніми елементами друкованого монтажу  $s$ ;
- –найменшу відстань  $L$  для прокладання на ній трас  $n$ .

Вихідні дані:

- клас точності друкованої плати - 2;
- клас щільності друкованого монтажу - 2;
- встановлювальні розміри ЕРЕ (табл. 3.3.2);
- вимоги діючих стандартів.

Розрахунок:[22]

Діаметри монтажних та перехідних отворів необхідні для виготовлення даної друкованої плати згідно ОСТ4.070.010-78 приведені в таблиці 3.3.2.

Таблиця 3.3.2

Діаметр, мм		Діаметр контакт-ного майданчика	Мінімальна відстань між центрами отворів
1		2	3
виводу ЕРЕ	отвору	мм	мм
0,6;0,7	1,1	3,0	3,5
1,0;1,1	1,5	3,0	3,75

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						38
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

Діаметри контактних майданчиків доцільно вибрати з ряду рекомендованих за ГОСТ 10317–79. Для кожного контактного майданчика перевіряється виконання умови формула. (3.22)[21]

$$D \geq D_{\min}; \quad (3.22)$$

де  $D_{\min}$  – найменший номінальний діаметр контактного майданчика визначається за формулою. (3.23)[21]

$$D_{\min} = (d_o + \Delta d_{\text{в.о.}}) + 2b + \Delta t_{\text{в.о.}} + (T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{\text{н.о.}}^2)^{1/2}; \quad (3.23)$$

Де  $d_o$  – діаметр отвору

$\Delta d_{\text{в.о.}}$  – верхнє граничне відхилення діаметру отвору;

$b$  – гарантійний поясок, мм;

$\Delta t_{\text{в.о.}}$  – верхнє граничне відхилення діаметру контактного майданчика;

$T_d$  – значення позиційного допуску розташування осей отворів у діаметральному вираженні;

$T_D$  – значення позиційного допуску розташування центрів контактних майданчиків у діаметральному вираженні;

$\Delta t_{\text{н.о.}}$  – нижнє граничне відхилення діаметру контактного майданчика та ширини друкованого провідника. (3.24) [2]

$$D_{\min 1} = (1,1 + 0,1) + 2 \cdot 0,2 + 0,15 + \sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,15^2} = 2,07[\text{мм}]; \quad (3.24)$$

$$D_{\min 3} = (1,5 + 0,1) + 2 \cdot 0,2 + 0,15 + \sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,15^2} = 2,47[\text{мм}];$$

діаметри контактних майданчиків вибираються  $D_1 = 2,2$  мм,  $D_2 = 2,6$  мм;

конструктивно-технологічний розрахунок ширини  $t_1$  друкованих провідників.

Номінальне значення ширини провідника у вузькому місці формула (3.25)

$$t_{1\text{у.м.}} = t_{\text{м.д.}} + |\Delta t_{\text{н.о.}}|; \quad (3.25)$$

де  $t_{\text{м.д.}}$  – мінімальна допустима ширина провідника у вузькому місці;

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						39
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

$\Delta t_{н.о.}$  – нижнє граничне відхилення діаметру контактного майданчика та ширини друкованого провідника. (3.26)

$$t_{1у.м.} = 0,45 + |0,15| = 0,60[мм] . \quad (3.26)$$

Мінімальна допустима ширина провідника у вільному місці  $t_{м.о.}$  береться на клас нижче (3.27)

$$t_{1у.м.} = 0,75 + |0,15| = 0,90[мм] . \quad (3.27)$$

Розрахунок мінімальної ширини провідників  $t_2$  за електричними режимами

попостійному струму. Ширину провідників розраховують, враховуючи два фактори: допустиму щільність струму в провіднику та допустиме падіння

напруги па провіднику. Визначається за формулою (3.28) [2]

$$t_2 \geq \frac{L \cdot I_{\max} \cdot \rho}{0,03 \cdot h_{\phi} \cdot U} \quad (3.28)$$

Де,  $h_{\phi}$  – товщина фольги, мм;  $U$  – прикладена напруга, В;  $L$  – довжина

провідника, м;  $I_{\max}$  – допустимий струм, А;  $\rho$  – питомий опір провідників.

(3.29)

$$t_2 \geq \frac{0,34 \cdot 0,5 \cdot 0,0175}{0,03 \cdot 0,035 \cdot 5} = 0,56[мм] ;$$

(3.29)

остаточний вибір ширини провідника  $t$  вибирається 1 мм, при цьому

виконується умова (3.30)

$$t \geq \begin{cases} t_1 = 0,90[мм] \\ t_2 = 0,56[мм] \end{cases}$$

(3.30)

розрахунок зазорів  $S$  між елементами друкованого монтажу.

Номінальна мінімальна відстань між сусідніми елементами друкованого монтажу, формула (3.31) [2]

$$L_m = t_{м.д.} + \Delta t_{в.о} \quad (3.31)$$

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						40
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

де  $S_{м.д}$  – мінімально допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами.

$\Delta t_{г.о.}$  – верхнє граничне відхилення діаметру контактного майданчика; (3.32)

$$L_m = 0,45 + 0,15 = 0,60 \text{ [мм]}; \quad (3.32)$$

Трасування плати в системі автоматизованого проектування Altium Designer

За допомогою автоматизованої системи проектування проводиться трасування плати. Попередньо для цього процесу в даній програмі створено необхідні футпринти і підв'язані до них 3D моделі. Для коректного

користування програмою та уникнення всіх можливих помилок при трасуванні необхідно попередньо нарисувати схему пристрою, поставити на схемі позиційні позначення, та до кожного елемента на схемі встановити відповідний футпринт з 3D моделлю компонента.

На рисунку 3.3.1 представлені зовнішні вигляди плат пристрою, перша це плата підсилювача датчика руху, а друга сам датчик руху.[22]

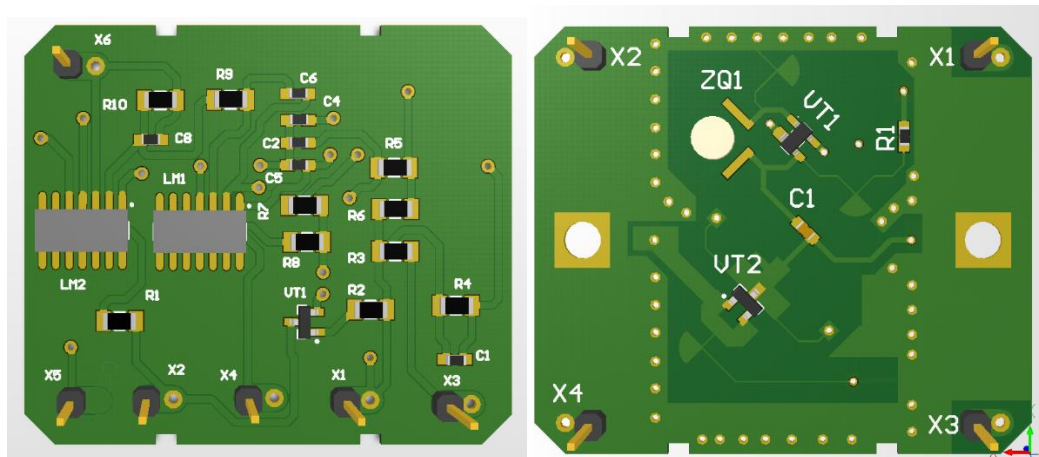


Рисунок 3.3.1 Підсилювач датчика руху та Датчик руху

Переваги такої системи в тому, що конструктор бачить плату такою, якою вона буде після виготовлення на підприємстві. Програма дозволяє швидко виправити всі помилки та переконфігурувати плату за невеликий проміжок часу. Для пристрою, обирається ДДП з розмірами 40х46,5мм.

### 3.3.2 Розрахунки що підтверджують працездатність:

Розрахунок надійності [2]

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						41
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

У випадку відмови прилад підлягає відновленню, після чого пристрій знову може бути використане по призначенню. Таким чином, пристрій відновиться до відновлюваного РЕА. Тривалість ділянки припрацювання складає десятки - сотні годин, а тривалість робочої ділянки сотні тисяч годин, то розрахунок проводиться для робочої ділянки. На робочій ділянці  $\lambda_0(t) = \text{const}$  і справедливий експонентний закон (3.33)

$$P(t) = e^{(-k \cdot \lambda_0 \cdot t)} \quad (3.33)$$

Так як з позиції безвідмовності блок досить складний, то на даній ділянці також справедливе співвідношення, формула (3.34)

$$\lambda_0 = \sum_{i=0}^n \lambda_i; \quad (3.34)$$

$\lambda_0$  – параметр потоку відмовлень системи;

$\lambda_i$  – параметр потоку відмовлень  $i$ -го елемента системи;

$k$  – поправочний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації.

На робочій ділянці середнє напрацювання на відмову при експонентно-музаконі за формулою: (3.35)

$$T_0 = 1 / \lambda_0 \quad (3.35)$$

Розрахунок надійності по раптових відмовленнях виконується для найбільш несприятливих факторів, а саме: [2] максимальних значеннях навколишньої температури; максимальних внутрішніх перегрівів елементів; максимальної вологості.

Параметр потоку відмовлень  $i$ -го елемента визначається за формулою (3.36)

$$\lambda_i = \lambda_{0i} \cdot a_1 \cdot a_2;$$

$$(3.36)$$

де  $\lambda_{0i}$  – параметр потоку відмовлень  $i$ -го елемента в нормальних умовах (відповідно до нормативно-технічної документації); [2]

$a_1, a_2$  – коефіцієнти, що враховують вплив температури та коефіцієнта завантаження  $K_n$  і вологості відповідно. (3.37)

$$a_1 = K_1 \cdot K_2; \quad (3.37)$$

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						42
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

$$a_1=1,07-2,5=2,675$$

$K_1, K_2$  – поправочні коефіцієнти.

Для імовірності відновлення як функції від часу справедливий експоненційний закон, тому що з погляду ремонтпридатності дана схема є відносно простою, формула (3.38) [2]

$$P_B(1)=1-e^{(-1/T_B)}; \quad (3.38)$$

де  $P_B(1)$  – імовірність того, що фактична тривалість робіт з відновлення працездатності виробу не перевищить заданої.

Напрацювання до можливої першої відмови ( $\gamma$ ) – це час, на протязі якого ймовірність безвідмовної роботи буде не нижчою наперед заданого рівня гарантійної ймовірності згідно ТЗ 0,9, визначається за формулою (3.39)

$$T_{\min} \approx T_{\text{сер}}(1 - \gamma); \quad (3.39)$$

Середній час відновлення блоку, формула (3.40)

$$T_{B1} = \frac{\sum_{j=1}^m (\lambda_j \cdot T_{Bj})}{\sum_{j=1}^m \lambda_j} \quad (3.40)$$

‘Прийняті припущення дозволяють використовувати теорему множення вірогідності, яка після групування рівнонадійних елементів виглядає таким чином: [2]

Розбиваємо елементи на рівнонадійні групи.

Розрахунок значень надійності для всіх рівнонадійних груп, що входять до складу пристрою приведений у таблиці 3.3.3.

$N_i$ – кількість елементів

$\lambda_{0i}$ – інтенсивність відмов для нормальних умов

$T_{Bi}$ - Середній час відновлення ЕРЕ

$K_H$ – коефіцієнт завантаження

$a_i$ – коефіцієнти, що враховують вплив температури та коефіцієнта завантаження і вологість відповідно.

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						43
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		



$\lambda_j$ – інтенсивність відмов групи в реальних умовах

$T_{вiс}$ – середній час відновлення групи

Таблиця 3.3.3- Результати розрахунків надійності приладу.

Тип елемента	$N_i$	$\lambda_{0i}$	$T_{вi}$	$K_n$	$a_i$	$\lambda_j$	$T_{вiс}$
A1 Датчик руху							
1. Конденсатори керамічні	1	0,37	1,05	0,7	0,65	0,24	1,05
2. Резистори керамічні	1	0,37	1,05	0,7	0,65	0,24	1,05
3. Транзистор BC817	1	0,5	0,9	0,5	0,35	0,18	0,90
4. Транзистор BC807	1	0,85	0,9	0,5	0,35	0,30	0,90
5. Резонатор DRT-8150	1	0,5	0,5	0,5	0,35	0,20	0,50
6. Конектор PLS-1	4	0,3	0,6	0,5	0,5	0,60	2,40
7. ДП	1	0,1	0,6	0,5	0,5	0,05	0,60
8. Пайки	18	0,02	0,2	0,5	0,5	0,18	3,60
A2 Підсилювач датчика руху							
9. Конденсатори керамічні	5	0,37	1,05	0,7	0,65	1,20	5,25
10. МК - LM324	1	0,5	0,9	0,5	0,45	0,33	0,90
11. Резистори керамічні	8	0,37	1,05	0,7	0,65	1,92	8,40
12. Транзистор MMBT2222A.215	1	0,5	0,9	0,5	0,35	0,18	0,90
13. Конектор PLS-1	5	0,3	0,6	0,5	0,5	0,75	3,00
14. ДП	1	0,1	0,6	0,5	0,5	0,05	0,60
15. Пайки	62	0,02	0,2	0,5	0,5	0,62	12,4

Графік ймовірності безвідмовної роботи зображено на рисунку 3.3.2

паме́тр потоку відмов за формулою складає: (3.41) [2]

$$\lambda_0 = 7,04 \cdot 10^{-6} \text{ [1/год]} \quad (3.41)$$

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						44
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

Середній час напрацювання пристрою на відмову в заданих умовах експлуатації за формулою (3.42)

$$T_0 = 1/7,04 \cdot 10^{-6} = 142046 \text{ [год]} \quad (3.42)$$

Ймовірність безвідмовної роботи, це ймовірність того, що на протязі часу  $t$  відмова пристрою не наступить, визначається за формулою

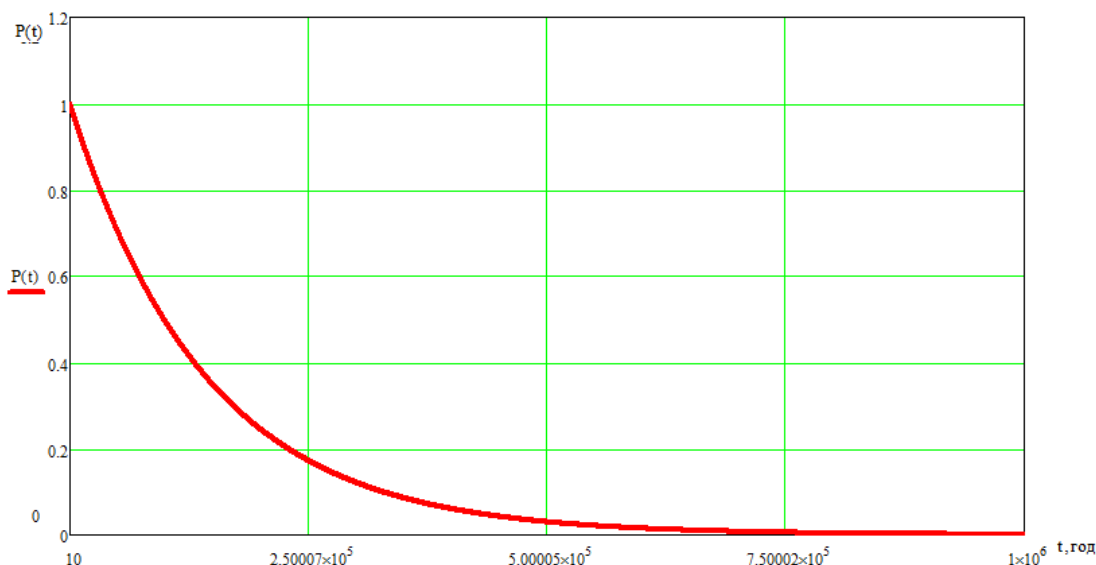


Рис. 3.3.2 Графік ймовірності безвідмовної роботи

Напрацювання до можливої першої відмови за формулою (3.43) [2]

$$T_{\min} \approx 142046 \cdot (1 - 0,9) = 14205 \text{ [год]}. \quad (3.43)$$

Середній час відновлення за формулою (3.44)

$$T_{B1} = \frac{7,15 \cdot 10^{-6}}{7,04 \cdot 10^{-6}} = 1,03 \text{ [год]} \quad (3.44)$$

В результаті розрахунку показників надійності: було розраховано середню інтенсивність відмов  $7,04 \cdot 10^{-6}$  1/год. пристрою; встановлено час відновлення працездатного стану пристрою 1,03 год.; розраховано напрацювання до відмови 14205 год.

Представлені показники показують, що вибрана елементна база, в процесі конструкторської розробки пристрою, метод і принцип компоновки задовільнили середнє напрацювання на відмову та мінімальне значення відновлення працездатного стану згідно ТЗ

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

**PT61.648415.001 ПЗ**

Лист  
45

### 3.3.3 Огляд готової конструкції

Проектування приладу проводилось в системі автоматизованого проектування SolidWorks. Ця програма є сумісною з програмою Altium Designer в котрій проводилось трасування та моделювання друкованого вузла. В даній програмі виконується моделювання корпусу виробу, складання виробу в цілому та підготовка необхідних конструкторських документів та графічного матеріалу. На рис. 3.3.3 зображена плата експортована із Altium Designer в SolidWorks.[22]

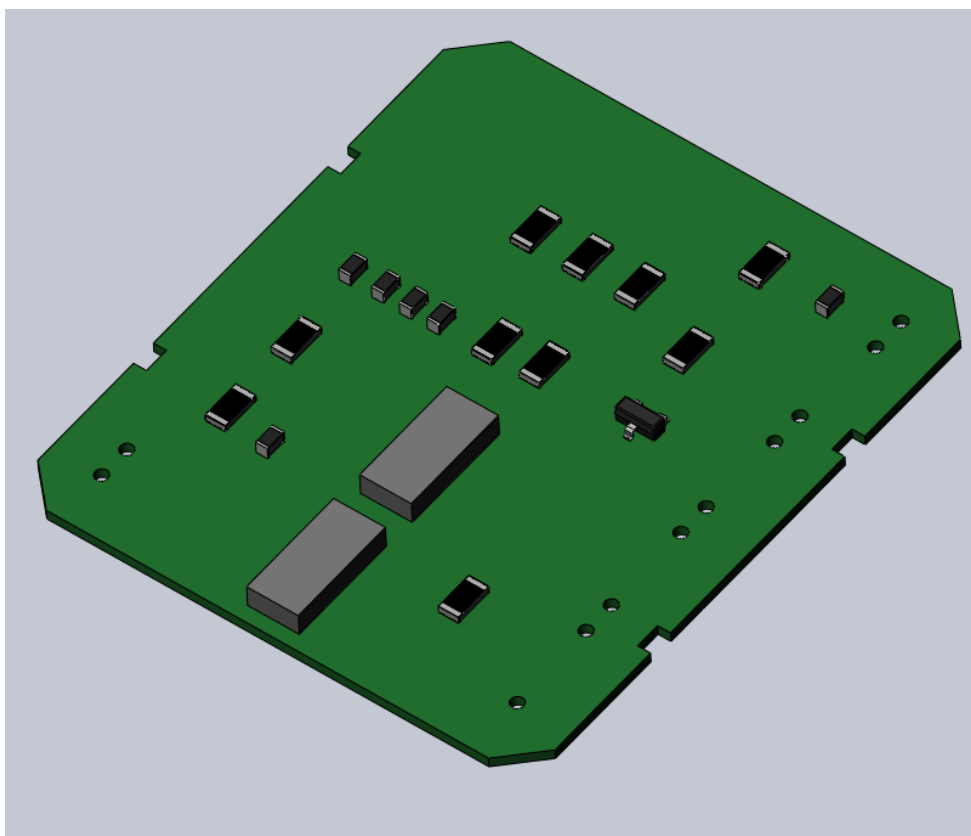


Рис. 3.3.3 Вигляд плати підсилювача руху в середовищі SolidWorks

Наступним кроком було моделювання корпусу пристрою з усіма необхідними отворами та кріпленнями. Плати між собою закріплені на PLS роз'ємах, на плату датчика закріплений екран. Корпус з'єднується з кришкою за допомогою гвинтів. В корпусі передбачено отвір для підключення датчика до охоронної системи, в нашому випадку до Raspberry PI. На рисунку 3.3.4 зображено 3D модель датчика в цілому:

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						46
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

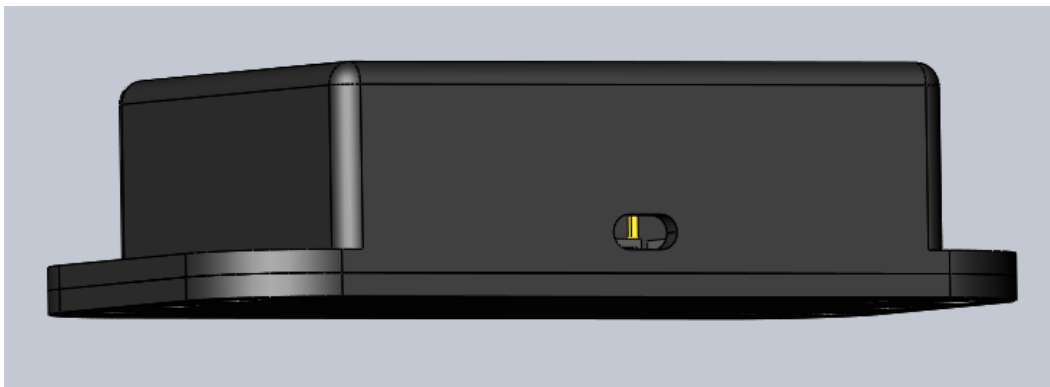


Рис. 3.3.4 3D модель датчика в цілому

### 3.4 Висновки третього розділу

В розділі РЛС моніторингу простору була розроблена та розрахована структурна схема РЛС моніторингу простору.

Була розроблена антенна система на шести доплерівських датчиків руху, дана РЛС дозволяє моніторити контрольний простір без його сканування, що в свою чергу унеможливорює проникнення об'єкту оставшись не поміченим.

В пункті 3.3 було розроблено датчик руху на ефекті доплера, для підвищення дальності дії спроектована також плата підсилювача датчика руху. За допомогою середовища SolidWorks було спроектовано корпус, який запобігає уникненню вологи, та пилу на плати.

					<i><b>PT61.648415.001 ПЗ</b></i>	Лист
						48
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Метою даного розділу дипломного проекту є визначення основних потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які мають місце при розробці схеми Датчика руху та схеми підсилювача Датчика руху, а також розробка відповідних заходів щодо створення безпечних умов праці. Також розглянуто засоби, щодо поліпшення умов праці в робочому приміщенні, в якому виконувалась розробка, а також першочерговим заходам із забезпечення необхідного рівня пожежної безпеки.[11]

Враховуючи той факт що при розробці даного виробу були враховані всі вимоги стосовно захисту персоналу від негативної дії електромагнітного випромінювання з урахуванням вимог ДСНіП №476 та ДСНіП №239 то ці питання в даному розділі не розглядаються.[13]

Основна увага в цьому розділі приділена питанням електробезпеки та гігієни праці при використанні засобів обчислювальної техніки відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 та згідно до «Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».[13]

### 4.1 Визначення основних потенційно небезпечних та шкідливих

виробничих факторів, які мають місце при виконанні науково-конструкторської роботи.

Так, як дипломний проект включає в себе розробку за допомогою САПР, то неминучим є вплив ВДТ.

ВДТ є пристроєм для візуального зображення інформації, збереженої електронним засобом. Він складається з дисплейного екрана, системного блока обробки виведеної інформації, і клавіатури. До таких факторів відносяться:[13]

- можливість ураження електричним струмом;
- м'яке рентгенівське випромінювання;
- ультрафіолетове і інфрачервоне випромінювання;

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

**PT61.648415.001 ПЗ**

Лист  
49

- електростатичне поле між екраном і оператором;
- наявність пилу, озону, оксидів азоту та аероіонізації;
- недостатнє освітлення приміщення та наявність відблисків від екрану монітора;
- неоптимальні параметри мікроклімату (температура, відносна вологість, швидкість руху, рівень іонізації повітря тощо).

Дипломний проект також передбачає взаємодію з друкованою платою, що означає можливу загрозу ураження електричним струмом.

Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруг та струмів, що проходять через тіло людини. Гранично допустимі значення напруги доторкання та сили струму при аварійному режимі роботи електроустановок регламентуються ПУЕ–2017. Основними причинами ураження людей електричним струмом є доторкання до відкритих струмоведучих частин, до струмопровідних елементів обладнання, які виявилися під напругою в результаті порушення ізоляції.

Основними технічними засобами, що забезпечують безпеку робіт (згідно ПУЕ-2017) є: надійна ізоляція, захисне заземлення, занулення, захисне відключення, засоби індивідуального захисту.

## **4.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки та гігієни праці та виробничої санітарії**

### **4.2.1 Електробезпека**

За способом захисту людини від ураження електричним струмом згідно ДСТУ ІЕС 61140:2015 ВДТ ПЕОМ та периферійні пристрої відносяться до I та II ВДТ ПОЕМ класів щодо електробезпеки. При виконанні дипломного проекту використовуються пристрої, які живляться від побутової електричної

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

***PT61.648415.001 ПЗ***

Лист  
**50**

мережі напругою 220 В та частотою 50 Гц, тобто відносяться до електроустановок напругою до 1000 В (системи заземлення TN-‘S’). За ступенем небезпеки ураження електричним струмом приміщення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, тому що в ньому відсутні умови, які створюють підвищену або особливу небезпеку: підвищена вологість, струмопровідний пи́л, хімічно активне середовище, струмопровідна підлога, підвищена температура. В приміщенні розташовувався лише один персональний ЕОМ, тому для безпечної праці додаткового захисту окрім заземлення не потребувалося. Заземлення відповідає вимогам ПУЕ-2017.[12]

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом для даного приміщення є забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, від випадкового дотику, організація безпечної експлуатації електронагрівальних приладів а також занулення устаткування. При наявності занулення замикання фази на корпус перетворюється в одноразове коротке замикання струму, від якого спрацьовує автоматичний комутаційний апарат, та вимкне світло.

Розрахунок електромережі на вимикаючу здатність включає в себе знаходження величини струму КЗ і розрахунок номінального струму спрацювання пристрою максимального струмового захисту.[13]

Необхідні дані для розрахунку:

- фазова напруга,  $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ ;
- опір фазового проводу,  $r_{\phi} = 2 \text{ Ом}$  ;
- опір нульового проводу,  $r_0 = 2 \text{ Ом}$ ;
- еквівалентний опір трансформатора,  $r_e = 0,16$ .

Струм однофазового КЗ знаходиться по формулі 4.1

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi}}{r_{\phi} + r_0 + r_e} \quad (4.1)$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{220}{2 + 2 + 0.16} = 52,88 [A]$$

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						51
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		



Номінальний струм спрацювання автомату струмового захисту розраховується за формулою (4.2)

$$I_{ном} \leq \frac{I_{кз}}{K} \quad (4.2)$$

де  $K$  – необхідна кратність струму  $KЗ$  до струму спрацювання автомату струмового захисту (4.3)

$$I_{ном} = \frac{52.88}{1.5} = 35,25[A] \quad (4.3)$$

З розрахунків видно, що при однофазному  $KЗ$  номінальний струм спрацювання автомату захисту повинен бути менш ніж 36 А.

Автомати струмозахисту, які експлуатуються в приміщенні мають  $I_{кз}$  4 А та

$t_{снр} < 0,2$  с. При однофазному  $KЗ$  нульовий провід і з'єднаний з ним корпус електроустаткування за час спрацювання максимального струмового захисту

знаходяться під напругою ( $U_{пр}$ ) відносно землі формула 4.3

$$U_{дот} = I_{кз} \cdot r_0 \quad (4.3)$$

$$U_{дот} = 52,88 \cdot 2 = 105,76[B]$$

Розрахована напруга  $U_{дот} < U_{дот.доп.}$  у відповідності з ПУЕ-2017 при  $t < 0,2$ с

$$U_{дот.доп} = 400 В).$$

#### 4.2.2 Відповідність параметрів мікроклімату робочої зони санітарним нормам.

Для проведення дослідно–конструкторської роботи дуже вагомим є забезпечення правильного мікроклімату робочої зони, це веде до підвищення працездатності і збереження здоров'я працівників, що в подальшому позитивно відзначається на виконувемій роботі.[15] Для підвищення працездатності і збереження здоров'я важливо створити для людини стабільні метеорологічні умови – мікроклімат повітряного середовища, у поняття якого входять температура, відносна вологість, швидкість руху повітря та інтенсивність теплового

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

**PT61.648415.001 ПЗ**

Лист  
52

опромінення. Стан повітряного середовища визначається метеорологічними умовами, виробничим мікрокліматом, а також запиленістю повітря і його за-газованістю. Мікроклімат виробничого приміщення визначається поєднаннями температури, вологості, швидкості руху повітря та інтенсивності теплового випромінювання, що впливають на організм людини. Для того, щоб фізіологічні процеси в організмі людини протікали нормально, температура його тіла повинна бути постійною. Надлишкова теплота повинна виділятися в навколишнє середовище. Відповідність між цією теплотою та охолоджувальною здатністю навколишнього середовища визначає комфортні умови. При відхиленні параметрів мікроклімату від комфортних в організмі людини відбуваються процеси, спрямовані на терморегулювання. Розрізняють хімічну і фізичну терморегуляцію організму. Хімічна відбувається шляхом зниження рівня обміну речовин, а фізична - за допомогою теплопровідності, конвекції, випромінювання і випарювання. Значні відхилення параметрів мікроклімату від оптимальних можуть стати причиною ряду простудних захворювань.[15]

Робочою зоною вважається простір, обмежений конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги чи майданчику, на яких знаходяться місця постійного чи непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на виробничих факторів, що утворюються в процесі трудової діяльності людини. Для нормальної життєдіяльності людини важливий парціальний тиск кисню – 21331 Па (160 мм рт.ст.) і необхідно, щоб у повітрі приміщень містилось не менш 19,5 - 20% кисню. Норми метеорологічних умов при розробці пристрою регламентуються ДСН 3.3.6.042-99. Значення оптимальних, припустимих і фактичних параметрів мікроклімату на постійному робочому місці розробника пристрою для категорії виконуваних їм робіт в холодний і теплий період року приведені в таблиці 4.1. Для забезпечення нормованих параметрів мікроклімату в робочій зоні розробника пристрою використовуються радіатори центрального водяного опалення і додаткові обігрівачі, періодично здійснюються провітрювання приміщення і вологе прибирання.[24]

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						53
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 Норми метеорологічних умов

Параметр	Значення параметра		Нормативний документ
	фактичне	нормоване	
1	2	3	4
Температура повітря (°C):			
взимку	18-20	21-25	ДСН 3.3.6.042-99
влітку	24	22-28	ДСН 3.3.6.042-99
Відносна вологість повітря (%)			
взимку	60	<75	ДСН 3.3.6.042-99
влітку	55	<60	ДСН 3.3.6.042-99
Повітрообмін (м³/год)			
взимку	2679, 831	90	СНиП 2.09.04-87
влітку	1704, 780	90	СНиП 2.09.04-87
Швидкість переміщення повітря м/с	0,096	<0,2	ДСН 3.3.6.042-99

Як видно з таблиць, фактичні значення параметрів мікроклімату в приміщенні проведення дослідно- конструкторської роботи в теплий період року відповідають припустимим значенням цих параметрів. Всі значення параметрів мікроклімату знаходяться у допустимих межах і задовольняють вимогам та санітарним нормам.[18]

### 4.3 Пожежна безпека та профілактика

При виконанні дипломного проекту існує не аби-яка загроза пожежі, так як в приміщенні знаходиться значна кількість твердих горючих речовин і матеріалів (дерев'яні меблі, пластмасові вироби, гума, папір, що поглинає покриття на стінках).[11]

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень та споруд з вибухопожежної та пожежної безпеки», науково-дослідницька лабораторія відноситься до пожежонебезпечних приміщень категорії В (тверді горючі й важкогорючі речовини й матеріали, речовини й матеріали, які при взаємодії з водою, киснем, повітря або один з одним здатні тільки горіти).

Згідно з класифікацією пожежних зон (відповідно до ДНАОП 0.00-1.3201)

науково-конструкторська лабораторія відноситься до зон класу П-Па – пожежо-небезпеки, що містять тверді горючі речовини, нездатні переходити у зважений стан.[11]

Приміщення, в яких розташовуються персональні ЕОМ та дисплейні зали, повинні бути оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації з димовими пожежними сповіщувачами згідно вимог ДБН В.2.5-56-2014 та переносними вуглекислотними вогнегасниками з розрахунку 2 шт. на кожні 20м<sup>2</sup> площі приміщення з урахуванням гранично допустимих концентрацій вогнегасної речовини згідно вимог ДСТУ 3675-98 та ISO №3941-77.

Необхідна кількість вогнегасників та їх тип визначаються залежно від їх вогнегасної спроможності, граничної захищувальної площі, категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою. Відповідно до міжнародного стандарту ISO №3941-77 в данному приміщенні можливі класи пожежі А (тверді речовини, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір) і Е (устаткування під напругою). Приміщення необхідно оснастити 2-ма переносними порошковими вогнегасниками місткістю 5 літрів. Інші типи вогнегасників не ре-

Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата

**PT61.648415.001 ПЗ**

Лист  
55

комендується використовувати в данному приміщенні. Порошки відрізняються високої вогнегасною здатністю та універсальністю, тобто здатністю гасити будь-які матеріали. Вони швидко ліквідують горіння при відносно малій витраті, не замерзають, не викликають корозії металів, у зоні горіння не проводять струм, не псують речовини та матеріали. Недолік порошків - висока гігроскопічність, датність до утворення грудок. Основні параметри порошкових вогнегасників приведено у таблиці 4.2 [18]

Таблиця 4.2 Параметри порошкових вогнегасників

Параметр	Марка вогнегасника		
	ВВ-80 (пересувний)	ВП-10(3) (переносний)	ВП-5-02 (переносний)
1	2	3	4
Температура експлуатації, °С	-40..+50	-20..+50	-50..+50
Маса вогнегасника (повна), кг	180	17,2	9,5
Довжина струменя вогнегасної речовини (мінімальна), м	11,0	5,0	4,0
Час приведення в дію (не більше), с	10	5	5
Тривалість подавання вогнегасної речовини (мінімальна), с	45-60	14±2	15±3
Вогнегасна спроможність (площа гасіння приведенного або модельного осередку, м²)	83,27	25,34	7,59

Кількість, розташування та умови зберігання вогнегасників відповідають вимогам ДСТУ 3675-98 та ISO №3941-77. Розміщення та утримання пе-

рвинних засобів пожежегасіння в робочих приміщеннях, відповідно існуючих вимог. Час евакуації з робочого приміщення лабораторії в разі виникнення пожежі відповідає вимогам ДБНВ.1.1-7-2016.

Припустимі відстані від найбільше віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу та ширина евакуаційних виходів та проходів відповідають вимогам ДБНВ.1.1-7-2016.[17]

Виникнення пожежі можливо у випадку короткого замикання в ланцюгах електроживлення. У зв'язку з цим необхідно передбачити наступні заходи:

- ретельна ізоляція всіх струмоведучих провідників на робочих місцях.
- періодичний огляд і перевірка ізоляції.
- суворе дотримання норм протипожежної безпеки на робочому місці.

Важливим є план евакуації на випадок пожежі чи інших непередбачених обставин, який повинен забезпечувати швидку та безпечну евакуацію з науково-дослідної лабораторії. У таблиці 4.3, приведені характеристики та норми евакуаційних виходів.[22]

Таблиця 4.3 Характеристики і норми евакуаційних виходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
1	2	3
Висота дверних прорізів	2.0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	0.8 м	Не менше 0.8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1.5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	2 м	Не менше 2 м
Параметр	Фактичне значення	Норма
Число виходів з коридору	2	Не менше 2

Ширина сходового маршу	1.2 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0.9 м

Тому для запобігання пожежі в приміщенні проводяться пожежно профілактичні заходи: застосування запобіжників в електричних мережах, використання пилонепроникних сполучних і розподільних коробок, а також проводиться інструктаж з техніки пожежної безпеки.[11]

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						58
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

#### 4.4 Висновки до охорони праці

Аналіз умов праці в розглянутому робочому приміщенні показав, що умови праці з ПЕОМ відповідають вимогам, оскільки площа та об'єм не менше нормативних значень, рівні шуму, вібрації і загазованості не перевищують нормативних обмежень.

Запропоновані світлодіодні світильники мають строк служби 50 тисяч годин, що значно краще ніж у люмінесцентних ламп, де строк рівний 10 - 20 тисяч годин, крім того залежить від кількості переключень. З іншого боку світильники є економічнішими на 44 % (світло-діодна лампа 20 +/- 1 Вт, люмінесцентна 36 +/-1Вт), більш ударостійкі, не містять токсичних речовин і не мають спеціальних вимог щодо утилізації. Ці лампи створюють оптимальні умови для зорової роботи інженера-програміста, а порівняно невисока температура нагрівання підвищує рівень пожежної безпеки.

Значення фактичної вологості повітря в приміщенні в холодний період - 35%, не потрапляє в діапазон допустимих значень. Отже, в холодну пору року в приміщенні необхідно використовувати зволожувачі повітря, а також для підвищення температури потрібно встановити додаткове опалення. Для пониження температури в теплу пору року потрібно встановити кондиціонер.



## ВИСНОВКИ

Провівши аналіз доступних на ринку датчиків руху, якіб мали дальність дії до одного кілометра при таких невеликих габаритах та потужностях, було прийнято рішення розробити антенну систему на шести доплерівських датчиках руху, дана РЛС дозволяє моніторити контрольний простір без його сканування. Після вибору елементної бази, розроблена друкована плата датчика руху та плата підсилювача датчика руху. [Додаток А]. Була розроблена та розрахована структурна схема РЛС, це зображено в пункті 3.1. Моделювання плат проводилося в програмному забезпеченні Altium Designer. Проектування корпусу виконано за допомогою середовища SolidWorks, який запобігає уникненню вологи, та пилу на платі. Діаграму направленості ФАР даного датчика моделювали в середовищі MATLAB додатковим пакетом SIGNAL PROCESSING AND COMMUNICATIONS.

Розроблений пристрій задовольняє усім вимогам технічного завдання.

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						60
Зм.	Лис	№ докum.	Підпис	Дата		

### Перелік джерел посилань:

1) К. С. Васюта, О. В. Тесленко, В. М. Купрій, О. А. Малишев “ОСНОВИ ПОБУДОВИ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ РОЗВІДКИ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ Конспект лекцій” Харків 2013 Режим доступу:

[http://www.repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/10414/1/Конспект\\_Лекцій\\_ОП\\_РЛЗ\\_РПП.pdf](http://www.repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/10414/1/Конспект_Лекцій_ОП_РЛЗ_РПП.pdf)

2) Підсилювач потужності звукової частоти [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://yamiki.ru/item/237857>

3) Обзор пространства [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<http://zrv.ivo.unn.ru/pages/vtp/5/5-3-radiolokatsionnyj-obzor.htm>

4) Камалтынов Г. Г. Состояние, направления развития обзорных РЛС ПВО большой дальности и РЛС двойного назначения: аналитический обзор / Г. Г. Камалтынов, А. Н. Колесник, М. В. Бейлин, А. Г. Варкута. – Харьков Научный центр Войск ПВО, 2003. – 52 с. 2.

5) Спосіб виявлення рухомих цілей імпульсним локатором [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<http://uapatents.com/3-60376-sposib-viyavlennya-rukhomikh-cilejj-impulsnim-lokatorom.html>

6) Решение навигационной задачи методом наименьших квадратов [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<http://srns.ru>

7) О. В. Бєлавін, В. Й. Климченко Г. Г. Камалтинов, О. С. Маляренко Світові тенденції розвитку радіолокаційних засобів контролю повітряного простору [Електронний ресурс] – Режим доступу:

[http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/4058/zhups\\_2014\\_3\\_13.pdf](http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/4058/zhups_2014_3_13.pdf)

8) Ремезов А. Максимальная эффективность при ограниченной стоимости на реализацию и эксплуатацию. Фазированные антенные решетки в радиолокационных станциях радиотехнических войск / А. Ремезов // Воздушно-космическая оборона. –2012. – № 6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа :

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

**PT61.648415.001 ПЗ**

Лист  
61

<http://www.vko.ru/oruzhie/maksimalnaya-effektivnost-pri-ogranichennoy-stoimosti-na-realizaciyu-i-ekspluataciyu>

9) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, затверджених наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 09 січня 1998 року № 4, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 10 лютого 1998 року за № 93/2533 (НПАОП 40.1-1.21-98)

10) «ПДУ воздействия электромагнитных полей диапазона частот 10-60 кГц». № 5803-91

11) НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні.

12) Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26 січня 2005 р. № 15 (НПАОП 0.00-4.12-05)

13) Правила безпечної експлуатації електроустановок, затверджених наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 06 жовтня 1997 року № 257, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 13 січня 1998 року за № 11/2451 (НПАОП 40.1-1.01-97)

14) ДСН 3.3.6.039-99. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрацій» – К.: МОЗ України, 2000.– 45с.

15) ДБН В. 2. 5. – 28– 2018 «Природне і штучне освітлення»

16) ДСН 3.3.6.037-99. «Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» – К.: МОЗ України, 2000 – 29с.

17) ДСН 3.3.6.039-99. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрацій» – К.: МОЗ України, 2000.– 45с.

18) НПАОП 0.00-4.33-99 Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій

19) Доплерівський радар: принцип і функціонування [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://uk.oclifescience.com/1533518-doppler-radar>

					<b>PT61.648415.001 ПЗ</b>	Лист
						62
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1 20) Поширення світла в різних середовищах. Ефект Доплера [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<https://history.vn.ua/pidruchniki/sirotuk-physics-and-astronomy-11-class-2019-standard-level/40.php>

21) Стандарти ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПВ

22) ГОСТ 23751-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции

23) Белинский В.Т. Практическое пособие по учебному конструированию РЭА - К.: Высшая школа, 1992;

24) ДСН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів – К.: МОЗ України, 2002 – 45ст.

					<i>PT61.648415.001 ПЗ</i>	Лист
						63
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		